Gouvernement du Canada | Government of Canada

Impacts et adaptation liés aux changements climatiques :

perspective canadienne

Canada

Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques

Le principal but du Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques est d'atténuer la vulnérabilité du Canada face aux changements climatiques. Le programme participe au financement de recherches visant à combler certaines lacunes dans nos connaissances sur la vulnérabilité du Canada face aux changements climatiques et à enrichir l'information qui appuie un processus de décision judicieux en matière de mesures d'adaptation. Le programme appuie également le Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN). Ce réseau facilite la collaboration entre les intervenants et les scientifiques, fait la promotion des nouvelles techniques de recherche, diffuse l'information et se veut le porte-parole de la nouvelle communauté de recherche sur les impacts et l'adaptation.

Pour obtenir des exemplaires supplémentaires du présent document, prière de s'adresser à la :

Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques
Ressources naturelles Canada
601, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0E8

adaptation@rncan.gc.ca

© Sa majesté la Reine du chef du Canada, 2004

N° de catalogue : M174-2/2004F
ISBN : 0-662-88032-3

Aussi disponible sur Internet :
http://adaptation.rncan.gc.ca/perspective_f.asp

Also available in English under the title: *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective*

Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne

Rédacteurs-coordonnateurs : **Donald S. Lemmen et Fiona J. Warren**
Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques
Ressources naturelles Canada
Ottawa, Ontario

Auteur principal : **Fiona J. Warren**, Ressources naturelles Canada

Autres auteurs : Elaine Barrow, Université de Regina
(Chapitre 2 : Orientations de la recherche)

Ryan Schwartz, Ressources naturelles Canada
(Chapitre 7 : Zones côtières)

Jean Andrey, University of Waterloo
(Chapitre 8 : Transports)

Brian Mills, Environnement Canada
(Chapitre 8 : Transports)

Dieter Riedel, Santé Canada
(Chapitre 9 : Santé et bien-être humains)

Remerciements

La Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada tient à remercier les personnes suivantes pour leur participation à la révision des chapitres et pour leurs commentaires :

Brian Abrahamson
Paul Allen
John Anderson
Martha Anderson
Shelley Arnott
Doug Bancroft
Sarah Baxter
Gilles Bélanger
Lianne Bellisario
Karen Bergman
Martin Bergmann
Andrée Blais-Stevens
Andy Bootsma
Robin Brown
Jim Bruce
Celina Campbell
Con Campbell
Martin Castonguay
Norm Catto
Allyn Clarke
Jean Claude Therriault
Stewart Cohen
William Crawford
Rob Cross
Denis D'Amours
Mike Denuth
Ray Desjardins
Ken Drinkwater
Patti Edwards
Rich Fleming
Don Forbes
Mike Foreman
Ken Frank
Christopher Furgal
Denis Gilbert
Pierre Gosselin
Steve Grasby
Glen Harrison
Bill Harron
Ted Hogg
Rick Hurdle
Mark Johannes
Mark Johnson
Pam Kertland
Justine Klaver
Ibrahim Konuk
Tanuja Kulkarni
Steven LeClair
Denis LeFaivre
Georgina Lloyd
Don MacIver
Dave Mackas
Kyle Mackenzie
Martha McCulloch
Joan McDougall
Greg McKinnon
Bill Meades
Bano Medhi
Vanessa Milley
Lorrie Minshall
Ken Minns
Carlos Monreal
Jonathan Morris
Linda Mortsch
Barb O'Connell
Fred Page
Kathryn Parlee
Andrew Piggott
Terry Prowse
Dieter Riedel
Daniel Scott
John Shaw
Barry Smit
Peter Smith
John Smithers
Steve Solomon
Colin Soskolne
Dave Spittlehouse
Bob Stewart
John Stone
David Swann
Bob Taylor
Harvey Thorleifson
Peggy Tsang
Herb Vandermeulen
Michel Vermette
Anita Walker
Ellen Wall
David Welch
Elaine Wheaton

105-00757/

Table des matières

Sommaire v

Introduction 1

Orientations de la recherche 15

Les ressources en eau 37

L'agriculture 57

La foresterie 77

Les pêches 101

Les zones côtières 123

Les transports 143

Santé et bien-être humains 165

Conclusion 187

Sommaire

Introduction

La communauté scientifique internationale est unanime au sujet du changement climatique : il s'agit d'un phénomène réel dont les effets se font déjà sentir dans certaines régions. En outre, il est largement reconnu que le changement climatique s'intensifiera en dépit de la mise en œuvre d'importantes mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et qu'il aura des conséquences économiques, sociales et environnementales pour le Canada et ses habitants. Bien que les effets varieront d'une région à l'autre, toutes les régions et pratiquement tous les secteurs économiques du pays seront touchés.

Les Canadiens devront s'adapter au changement climatique s'ils veulent en réduire les effets défavorables et tirer parti des nouvelles possibilités qui y sont associées. Les mesures d'adaptation ne remplacent pas les m esures de réduction des émissions de GES dans la lutte contre le changement climatique; elles sont plutôt un complément nécessaire. La réduction des émissions de GES ralentit la progression du changement climatique et en diminue l'ampleur, ce qui favorise la mise en place de mesures d'adaptation efficaces et diminue les coûts connexes. L'adaptation n'est pas un nouveau concept : les Canadiens ont déjà trouvé une foule de méthodes pour affronter efficacement le climat extrêmement variable du pays. Cependant, la nature et la progression du changement climatique poseront des défis uniques.

Pour élaborer une stratégie d'adaptation efficace, il faut comprendre la vulnérabilité du Canada au changement climatique. Cette vulnérabilité est définie par trois facteurs : la nature du changement climatique, la sensibilité climatique du système ou de la région en cause et la capacité de s'adapter aux changements qui en résultent. En raison de la grande diversité géographique, écologique et économique du Canada, ces facteurs varient considérablement, tout comme la vulnérabilité au changement climatique. Dans de nombreux cas, l'adaptation nécessitera d'accroître la capacité de résistance et d'adaptation d'un système afin qu'il soit davantage en mesure d'affronter le stress.

Le rapport intitulé *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne* donne un aperçu des travaux de recherche réalisés au cours des cinq dernières années dans le domaine des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique au Canada. Le présent résumé reprend les thèmes généraux du rapport ainsi que les points saillants de certains chapitres.

Image gracieuseté de Ressources naturelles Canada

Introduction

Le changement climatique prévu

Selon les scénarios climatiques résumés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les températures mondiales moyennes devraient grimper de 1,4 à 5,8 °C au cours du présent siècle. Comme le Canada est un pays de latitude élevée, le réchauffement y sera probablement plus prononcé (*voir* la figure 1). L'augmentation de la température variera dans l'ensemble du pays, et le réchauffement sera plus grand dans certaines régions, notamment le nord du pays et le centre et le sud des Prairies. On prévoit aussi qu'il variera selon les saisons – il sera plus intense en hiver – et selon l'heure de la journée – il sera plus intense pendant la nuit. Ce réchauffement fera varier la configuration des précipitations, la variabilité climatique, ainsi que la fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes. Comme ces changements ne seront pas uniformes dans l'ensemble du pays, les impacts varieront d'une région à l'autre.

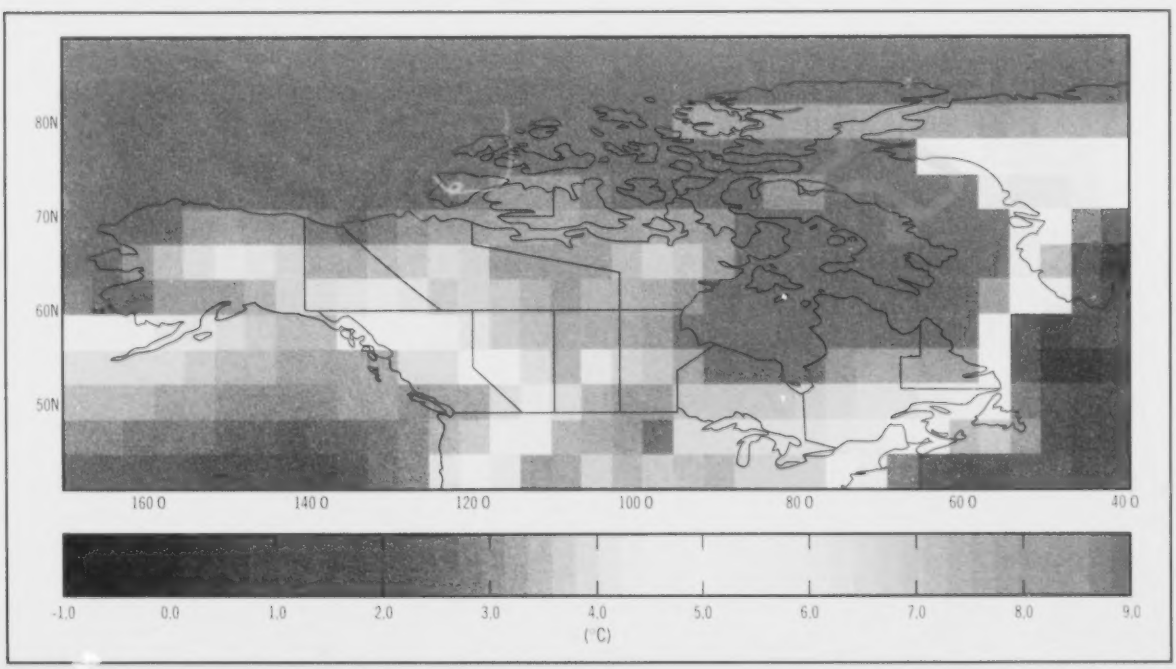
Il est de plus en plus évident que le changement climatique est en train de se produire. À l'échelle planétaire, la moyenne des températures en surface a augmenté d'environ 0,6 °C au cours du XX^{e} siècle. En outre, on a aussi constaté au Canada une hausse des températures minimales et maximales. En conséquence, la couverture de glace de mer a diminué, les espèces se sont déplacées vers le nord et le niveau moyen de la mer s'est élevé à l'échelle planétaire. En outre, le GIEC a conclu que les précipitations annuelles, les fortes précipitations, la couverture nuageuse et les températures extrêmement élevées augmentent de façon manifeste depuis au moins 50 ans.

La vulnérabilité des secteurs canadiens

Le changement climatique prévu devrait apporter une gamme de défis et d'avantages au Canada, où le bien-être économique et social est grandement tributaire de la prospérité et de la viabilité du secteur des ressources naturelles, notamment les ressources hydriques, forestières, halieutiques et agricoles, ainsi que de la viabilité du réseau de transport et du système de soins de santé.

Jusqu'à maintenant, la plupart des travaux de recherche sur les impacts et l'adaptation ont porté sur les effets biophysiques du changement climatique.

FIGURE 1 : Projection annuelle des températures pour les années 2080, basée sur le Modèle couplé de circulation générale canadien 2-A21.



Graphique : Gracieuseté de l'Institut canadien d'études climatologiques

Les résultats laissent à penser que les plus importants défis seront liés à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes tels que les inondations, les sécheresses et les tempêtes. En raison des événements extrêmes et de la rapidité du changement climatique, des seuils critiques pourraient être dépassés, ce qui entraîne souvent des conséquences graves ou catastrophiques. À l'opposé, de nombreux systèmes devraient être capables, sous réserve des ajustements appropriés, de tolérer un réchauffement graduel et limité des températures, et même d'en profiter à certains moments. Ainsi, dans certaines régions, l'augmentation de la température pourrait favoriser la croissance des plantes et diminuer les coûts d'entretien des routes ainsi que les décès causés par un froid extrême.

Il y a une question récurrente en ce qui a trait aux impacts et à l'adaptation liés au changement climatique : l'incertitude, que ce soit à l'égard des prévisions concernant le changement climatique (le degré et la vitesse du changement des températures, des précipitations et d'autres facteurs climatiques), à l'égard de la réaction des systèmes (connaissance partielle), à l'égard de la capacité d'adaptation des personnes ou à l'égard du futur changement de l'offre et de la demande (difficulté de les prévoir). Compte tenu de la complexité de ces systèmes, l'incertitude est inévitable et particulièrement prononcée à l'échelle locale et régionale, où de nombreuses décisions sont prises en matière d'adaptation. Néanmoins, il est possible d'affronter l'incertitude dans un contexte de gestion des risques, et la plupart des experts conviennent qu'elle ne nous empêche pas de mettre en œuvre des mesures d'adaptation.

Grâce aux mesures d'adaptation, il est possible de réduire l'ampleur des effets nuisibles et de profiter des avantages qui se présenteront dans tous les secteurs. Les chercheurs recommandent de mettre l'accent sur les mesures qui contribuent à accroître notre capacité d'adaptation et notre connaissance des principales vulnérabilités. Ces stratégies sont plus efficaces lorsque la question du changement climatique est intégrée aux cadres décisionnels plus vastes.

On examine dans les sections suivantes les impacts et les options possibles en matière d'adaptation pour les principaux secteurs du Canada, qui sont présentés dans les documents et rapports scientifiques publiés depuis 1997. Il est important de souligner que ces secteurs sont à la fois interreliés et interdépendants, puisque les décisions prises dans un secteur en matière d'adaptation peuvent avoir des conséquences importantes pour d'autres secteurs. C'est pourquoi il est primordial de coordonner les activités d'adaptation des divers secteurs.

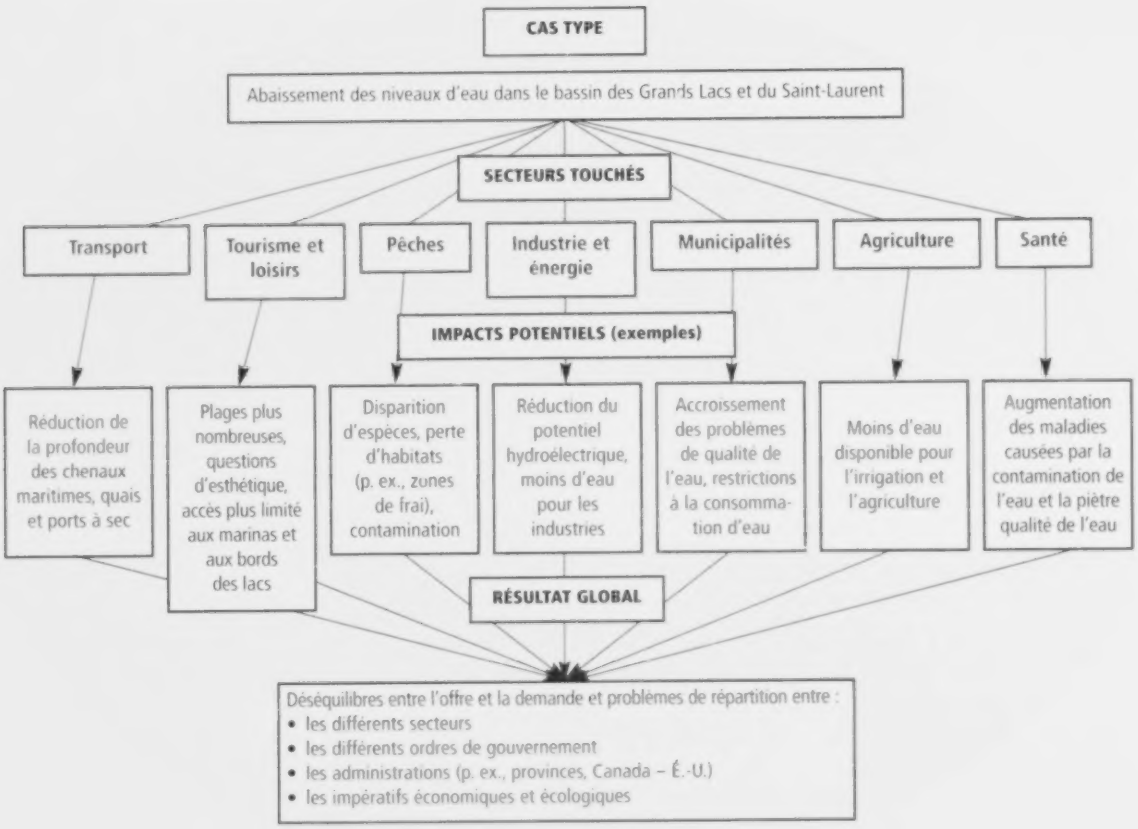
Image gracieuseté de Ressources naturelles Canada

Les ressources en eau

Les ressources en eau sont parmi les questions prioritaires en ce qui a trait aux impacts et à l'adaptation liés au changement climatique au Canada. Il est crucial d'avoir un accès fiable à de l'eau propre pour l'usage domestique, la production alimentaire et énergétique, le transport, les loisirs et le maintien des écosystèmes naturels. Bien que le Canada dispose d'une quantité d'eau relativement abondante par habitant, la plupart des régions du pays ont éprouvé à un moment ou à un autre des difficultés telles que des sécheresses, des inondations ou des problèmes de qualité de l'eau en raison de la répartition inégale des ressources en eau et de la variation de leur disponibilité d'une année à l'autre.

Ces problèmes deviendront plus fréquents en raison du changement climatique. La température et les précipitations ont un effet très important sur les cycles

FIGURE 2: Les ressources en eau – une question transversale.



hydrologiques. Des changements dans ces paramètres, si minimes soient-ils, peuvent influer sur l'approvisionnement en eau en modifiant les régimes de ruissellement et d'évaporation ainsi que la quantité d'eau dans les glaciers, les lacs et les sols. Cependant, l'ampleur des futurs changements et la direction qu'ils prendront sont encore incertaines, en partie en raison des limites des modèles climatiques. Bien que les impacts varieront probablement d'une région à l'autre, il est évident que certains aspects, notamment les événements extrêmes, la réduction de la couverture de glace et la modification des régimes d'écoulement, sont préoccupants dans un grand nombre de régions. Dans l'ensemble, les régions les plus vulnérables seront celles qui subissent déjà un stress hydrique, par exemple certaines parties des Prairies et la vallée de l'Okanagan, où la demande égale ou dépasse déjà l'offre.

On prévoit que dans de nombreuses régions, les débits et les niveaux d'eau créeront ou intensifieront les problèmes liés à l'approvisionnement en eau pendant les mois d'été. Ainsi, on pense que le débit des rivières des Prairies s'affaiblira en été en raison de la diminution des apports d'eau provenant de la fonte du manteau nival et des glaciers. De fait, les données indiquent qu'une tendance à long terme se dessine déjà en ce qui a trait à la diminution des débits. La réduction connexe des apports d'eau souterraine de sources peu profondes pourrait aggraver la pénurie d'eau. En outre, les préoccupations relatives à l'approvisionnement en eau pourraient s'intensifier dans le bassin des Grands Lacs, où de nombreux secteurs seraient touchés par la baisse des niveaux d'eau (*voir* la figure 2). Par contre, le risque d'inondation serait plus grand dans de nombreuses régions du pays en hiver, en raison de l'amincissement de la couverture de glace et de la multiplication des épisodes de pluie sur neige et des dégels.

La modification des régimes d'écoulement et des niveaux d'eau pourrait aussi nuire à la qualité de l'eau. La baisse des niveaux d'eau et la hausse des

températures pourraient accroître la contamination par des bactéries, des nutriants ou des métaux, alors que la multiplication des inondations pourrait intensifier l'évacuation des déchets urbains et agricoles dans les systèmes d'approvisionnement en eau, ce qui entraînerait des problèmes de goût et d'odeur et augmenterait le risque de maladies d'origine hydrique dans les collectivités de l'ensemble du pays. L'approvisionnement en eau, les activités récréatives et les écosystèmes naturels seraient également touchés. Au nombre des préoccupations régionales concernant la qualité de l'eau, mentionnons l'invasion de l'eau salée dans les zones côtières et la rupture de l'infrastructure hydraulique du Nord résultant de la détérioration du pergélisol.

En raison de la diminution de l'approvisionnement en eau, du moins saisonnière, et de l'augmentation des problèmes liés à la qualité de l'eau, les Canadiens disposeront d'une moins grande quantité d'eau de bonne qualité. Parallèlement, la demande dans les secteurs agricole, domestique et industriel (p. ex., l'irrigation, l'arrosage et la climatisation, respectivement) augmenterait probablement dans les régions où le climat est devenu plus chaud et plus sec. Les écarts entre l'offre et la demande se multiplieront, et des changements technologiques et comportementaux ainsi que des changements sur le plan de la gestion seront requis pour régler les conflits éventuels.

Un grand nombre des options couramment recommandées pour s'adapter au changement climatique dans le secteur des ressources en eau, notamment la conservation de l'eau et la préparation aux événements extrêmes, sont basées sur des stratégies conçues en fonction de la variabilité actuelle du climat. Les mesures d'adaptation structurales telles que les barrages, les déversoirs et les canaux de drainage donnent plus de souplesse pour gérer les problèmes, mais sont assorties de coûts économiques, sociaux et environnementaux. C'est pourquoi il sera souvent préférable d'améliorer l'infrastructure actuelle plutôt que de construire de nouvelles structures pour affronter les futures variations climatiques. Les décisions relatives à la conception devront davantage mettre l'accent sur les événements extrêmes et les seuils des systèmes plutôt que sur la modification des conditions moyennes.

La gestion de la demande est une importante mesure d'adaptation institutionnelle et sociale qui nécessite de réduire la demande d'eau à l'aide de mécanismes tels que les initiatives de conservation et de tarification de l'eau. Les programmes communautaires de conservation de l'eau peuvent réussir à réduire efficacement la consommation d'eau, alors que les mesures économiques, tarifaires et commerciales peuvent contribuer à équilibrer l'offre et la demande d'eau.

Il faudrait tenir compte du changement climatique dans la planification qui se fait actuellement au sujet de la gestion de l'eau. Cela se fait uniquement dans quelques régions, par exemple le bassin de la rivière Grand situé dans le sud-ouest de l'Ontario. Afin de mieux gérer les incertitudes liées aux changements touchant le climat et les ressources en eau, les gestionnaires devraient envisager le changement climatique dans l'optique de la gestion du risque et de l'évaluation de la vulnérabilité.

Image gracieuseté de Stewart Cohen

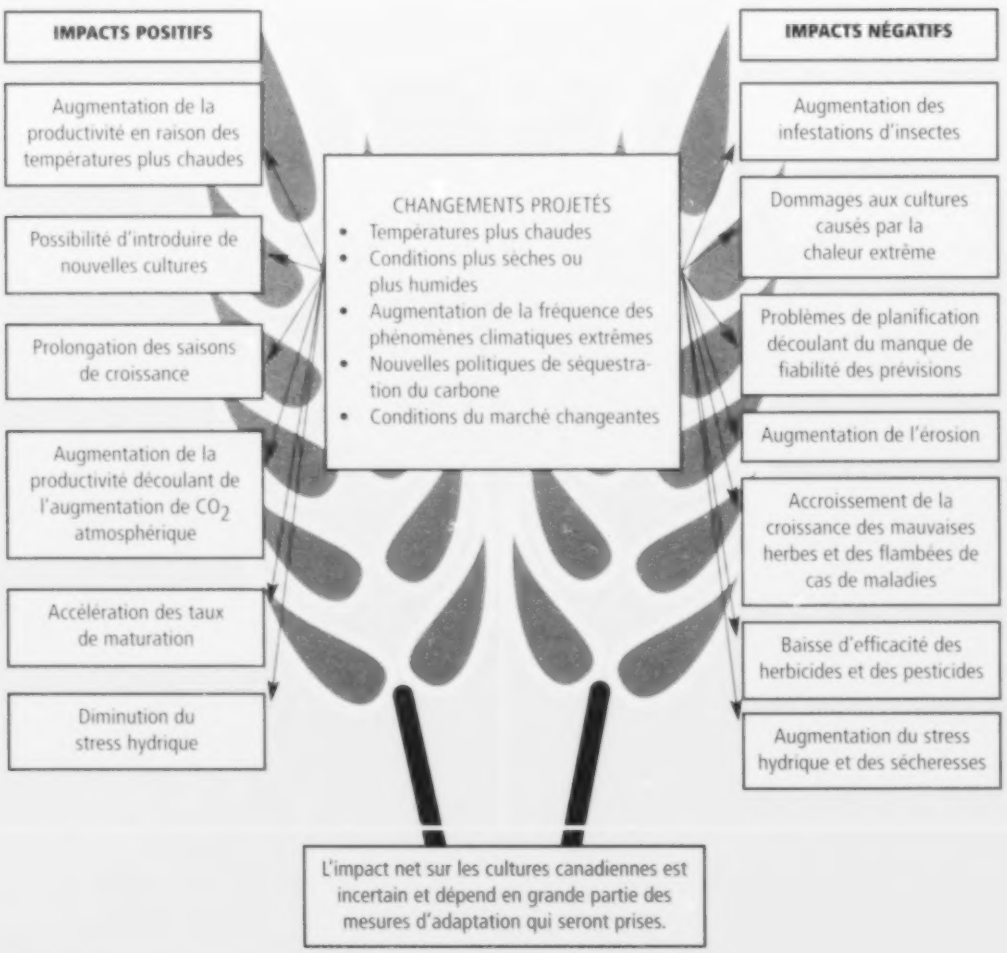
L'agriculture

Extrêmement importante pour l'économie canadienne, l'agriculture est naturellement sensible aux conditions climatiques. C'est pourquoi les effets du changement climatique sur l'agriculture ont été abordés dans de nombreuses études. La plus grande partie de ces travaux portent sur les effets du réchauffement des températures et de la modification de l'indice de l'humidité disponible sur les cultures agricoles; quelques travaux abordent les effets de l'augmentation de la concentration de CO_2, de la modification des événements extrêmes et de la prolifération des ravageurs et quelques autres, les effets du changement climatique sur les exploitations d'élevage, les fermes laitières et les vergers.

On s'attend à ce que le changement climatique comporte à la fois des avantages et des désavantages pour les cultures agricoles du Canada (*voir* la figure 3). Ainsi, même si les températures plus chaudes prolongeront probablement la saison de croissance, elles nuiront en même temps aux cultures en raison du stress hydrique et des problèmes liés à l'eau et aux ravageurs. Les impacts varieront en fonction des régions et des types de culture. Selon les études, le rendement de certaines cultures (p. ex., le maïs-grain dans les Maritimes et le canola en Alberta) pourrait s'accroître, tandis que celui d'autres cultures (p. ex., le blé et le soya au Québec) pourrait décliner.

La modification de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes (p. ex., les sécheresses, les inondations et les tempêtes) est considérée comme le plus grand défi que devra relever l'industrie agricole à la

FIGURE 3: Impacts éventuels du changement climatique sur les cultures agricoles du Canada.



suite du changement climatique. Comme il a été démontré plusieurs fois dans le passé, les événements extrêmes, qui sont difficiles à prévoir et pour lesquels il est difficile de se préparer, peuvent dévaster les exploitations agricoles. Ainsi, la sécheresse de 2001 a gravement touché les exploitations agricoles du pays, réduisant considérablement le rendement des cultures et augmentant la prolifération des insectes et des maladies. Il a aussi été démontré que la sécheresse et la chaleur extrême nuisent aux exploitations d'élevage. Jusqu'à maintenant, il n'a pas beaucoup été question des événements extrêmes dans les travaux sur l'évaluation des impacts.

En outre, la documentation récente indique que le moment du réchauffement sera important pour le secteur agricole. Selon les modèles climatiques prévus et les tendances observées, le réchauffement culminera pendant les mois d'hiver, et les minimums nocturnes augmenteront plus rapidement que les maximums diurnes. Bien sûr, le réchauffement des températures hivernales réduit le stress lié au froid, mais il augmente aussi le risque de subir des dommages en raison des dégels et de réduire l'épaisseur de la couche de neige protectrice. En outre, le réchauffement climatique accroît la fréquence des journées extrêmement chaudes, ce qui, comme on le sait, endommage directement les cultures agricoles.

La variabilité de l'indice de l'humidité disponible est une préoccupation clé dans le secteur agricole. En général, on s'attend à ce que le changement climatique diminue l'approvisionnement en eau pendant la saison de croissance tout en augmentant simultanément la demande. Les pénuries d'eau, en plus de causer des problèmes directs, limiteraient les impacts positifs possibles du changement climatique, notamment le réchauffement des températures et le prolongement de la saison de croissance. On prévoit qu'elles représenteront un problème dans plusieurs régions du Canada.

La plupart des travaux de recherche sur l'adaptation dans le secteur agricole ont mis l'accent sur des stratégies visant à régler les pénuries d'eau – par exemple, la conservation de l'eau et l'ajustement des dates de plantation et de récolte – qui pourraient jouer un rôle crucial dans la réduction des pertes associées à la future déshydratation. On étudie d'autres options d'adaptation, par exemple l'introduction de nouvelles espèces et d'espèces hybrides qui sont plus résistantes à la sécheresse et à la chaleur, ainsi que l'élaboration de politiques et de pratiques visant à assouplir les systèmes agricoles. Il faudra mieux définir les seuils climatiques critiques pour le secteur agricole afin de mieux planifier les mesures d'adaptation.

Les chercheurs classent en quatre grandes catégories les stratégies d'adaptation destinées au secteur agricole : développements technologiques; programmes gouvernementaux et assurance; pratiques de production agricole; et gestion financière agricole. Les mesures d'adaptation devront être prises à tous les niveaux : producteurs, gouvernements, industrie et consommateurs. Pour assurer l'efficacité maximale de ces mesures, ces divers groupes devront communiquer et collaborer considérablement, et il faudra désigner clairement les responsables de la mise en œuvre des mesures.

Image gracieuseté de Ressources Naturelles Canada

La foresterie

Les forêts couvrent environ la moitié de la masse continentale du Canada et constituent un élément vital de la société, de la culture et de l'économie du pays. Le changement climatique peut avoir un effet immense sur les forêts canadiennes; en effet, de simples petits changements dans les températures et les précipitations peuvent influer considérablement sur la croissance et la survie des forêts. Ainsi, l'augmentation de température de 1 °C qui s'est produite au cours du dernier siècle au Canada a prolongé la saison de croissance, accéléré la croissance des plantes et modifié la phénologie et la répartition des arbres ainsi que les zones de rusticité. On prévoit qu'à l'avenir, le changement climatique aura

des effets sur la répartition des espèces, la productivité forestière et les régimes de perturbation. Il est essentiel de connaître la vulnérabilité du secteur forestier à ces changements pour planifier la gestion forestière.

Les impacts du changement climatique sur les forêts varieront selon les régions et dépendront de plusieurs facteurs, notamment la composition des espèces, les conditions du site et le microclimat local. Ainsi, la capacité des diverses espèces d'arbre de s'adapter au réchauffement climatique, leur réaction à des concentrations élevées de CO_2 et leur tolérance aux perturbations varient grandement. La structure des classes d'âge des forêts permet aussi de comprendre comment les forêts réagissent au changement climatique. En général, la croissance forestière est favorisée par des saisons de croissance plus longues, des températures plus chaudes et des concentrations de CO_2 plus élevées. Ces avantages pourraient être annulés par l'augmentation connexe du stress lié au manque d'humidité, l'instabilité des écosystèmes résultant de la migration des espèces, ainsi que la multiplication et l'intensification de certaines perturbations telles que les feux de forêt, la prolifération des insectes et les événements climatiques extrêmes. Tous ces facteurs suscitent une grande incertitude à l'égard des changements futurs, et il devient difficile de prévoir les impacts à l'échelle régionale.

On s'attend à ce que certaines espèces d'arbre réagissent au réchauffement des températures par une migration vers le nord et vers des régions situées à une altitude plus élevée, comme elles l'ont fait à plusieurs reprises auparavant. De fait, le réchauffement climatique récent semble déjà avoir déplacé la limite des arbres plus haut sur les versants dans les Rocheuses canadiennes centrales. On se demande cependant si ces espèces pourront suivre le rythme rapide du futur changement climatique et si les obstacles à la dispersion, tels que la fragmentation des habitats et les déficiences du sol, nuiront à la migration dans certaines régions. Le changement des conditions d'humidité et des régimes de perturbation pourrait aussi limiter la migration des espèces.

Les impacts de la modification des régimes de perturbation pourraient masquer d'autres changements plus progressifs. C'est pourquoi les perturbations constituent une préoccupation clé du secteur forestier. En général, on convient, dans les études, que la fréquence des feux dans la forêt boréale et la superficie totale brûlée ont augmenté au cours des 20 à 40 dernières années. Bien qu'il soit difficile de faire des projections en raison de l'incertitude à l'égard du changement qui se produira dans la configuration des précipitations et dans l'intensité du vent et des tempêtes, on s'attend généralement à ce que le risque et la gravité des feux de forêt augmentent dans la plupart des régions du pays.

Il est probable que le réchauffement des températures agrandira les zones d'activité des ravageurs forestiers tels que la tordeuse des bourgeons de l'épinette et le dendoctrone du pin, raccourcira leurs cycles de prolifération et augmentera leur taux de survie. Les insectes ont des cycles de vie courts, une grande

FIGURE 4: Ampleur de trois feux simulés dans un paysage actuel (à gauche) et dans un paysage « intelligent » hypothétique (à droite) 22 heures après le début des feux. Il est à noter que la superficie brûlée a diminué avec la méthode de l'aménagement intelligent.

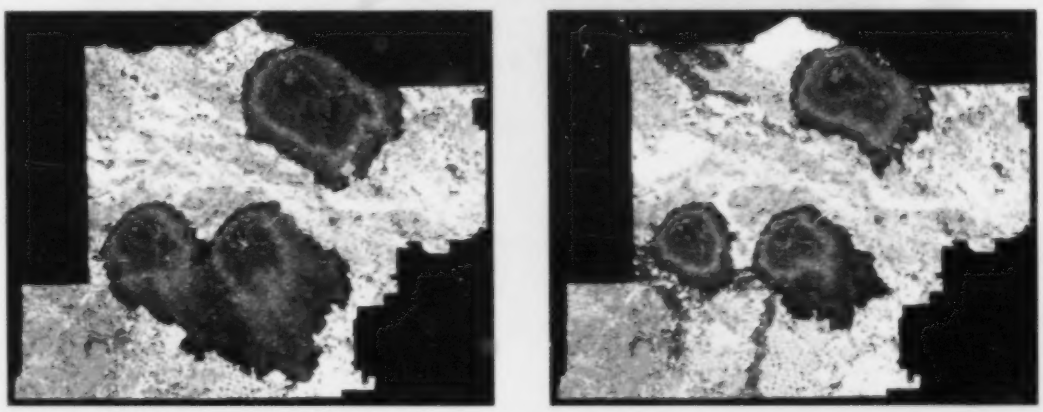


Image : Gracieuseté de Ressources naturelles Canada

mobilité et une immense capacité de reproduction, ce qui leur permet de s'adapter rapidement à de nouvelles conditions et de tirer parti de nouvelles possibilités. En outre, l'interaction des perturbations peut être cumulative, c'est-à-dire que l'augmentation d'une perturbation augmente la possibilité que d'autres perturbations se produisent. Ainsi, dans la forêt boréale de l'Ouest du Canada, la prolifération de la tordeuse des bourgeons de l'épinette pourrait favoriser la multiplication des feux de forêt en raison de la plus grande quantité d'arbres morts qui pourraient alimenter les feux.

Les mesures d'adaptation aideront l'industrie forestière à réduire ses pertes et à maximiser les avantages qu'elle tirera du changement climatique. La planification de ces mesures, c'est-à-dire la prévision des futurs changements et la modification connexe des pratiques forestières, est particulièrement importante parce que les phases de rotation des cultures tendent à être longues et que les espèces plantées aujourd'hui doivent être en mesure de résister aux climats futurs et de croître dans ces nouvelles conditions. La méthode de l'aménagement intelligent, qui consiste à avoir recours à des activités d'aménagement forestier telles que la récolte, la régénération et les soins sylvicoles pour réduire l'intensité et la propagation des feux de friche, pourrait réduire considérablement l'ampleur des futurs feux de forêt (*voir* la figure 4).

Les recommandations clés visant à faciliter l'adaptation comprennent notamment l'amélioration des communications entre les chercheurs et les membres du milieu de l'aménagement forestier, ainsi que l'augmentation de la résistance des forêts en assurant leur santé et leur biodiversité et en réduisant les stress non climatiques qu'elles subissent.

Les pêches

Le secteur des pêches au Canada, qui englobe les océans Atlantique, Pacifique et Arctique ainsi que le plus grand réseau d'eau douce au monde, revêt une grande importance sur le plan économique et culturel. Dans chaque région, la pêche commerciale, la pêche récréative et la pêche de subsistance jouent un rôle important, quoique variable. Les mollusques et les crustacés représentent actuellement la prise commerciale ayant la plus grande valeur; le saumon est un élément essentiel de la pêche de subsistance et de la pêche récréative; et l'aquaculture est l'un des secteurs de la production alimentaire qui connaît la

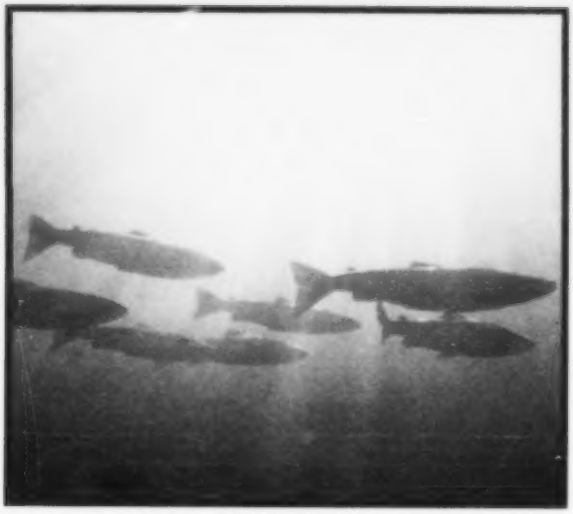


Image gracieuseté de Atlantic Salmon Federation et G. van Ryckevorsel

croissance la plus rapide au pays. Depuis quelques décennies, on observe des changements importants dans les écosystèmes marins; c'est pourquoi un grand nombre de travaux de recherche récents ont porté sur l'évaluation du rôle du climat dans ces changements.

On s'attend à ce que le changement climatique ait un effet important sur les populations de poisson et la durabilité des pêches. Les poissons sont assujettis à un ensemble distinct de conditions environnementales qui favorisent leur croissance optimale, leur reproduction et leur survie. La modification de ces conditions en raison du changement climatique aura des effets directs et indirects sur le poisson, effets qui résulteront principalement des changements dans la température de l'eau, les niveaux d'eau, la couverture de glace, les événements extrêmes, les maladies et les relations prédateurs-proies. Les préoccupations clés relatives aux pêches varient d'une région à l'autre.

Comme les prises de saumon ont diminué de façon marquée le long de la côte du Pacifique dans les années 1980 et 1990, les travaux de recherche ont principalement été axés sur ce poisson puisqu'il revêt une grande importance pour les pêches de la côte Ouest. Les variations de température touchent le saumon de façon directe, en influant notamment sur sa croissance, sa survie et sa reproduction, et de façon indirecte, en modifiant les relations prédateurs-proies et l'habitat. En outre, il a été démontré que les changements survenus dans les débits des rivières et les événements climatiques extrêmes influent sur la survie et la reproduction du saumon.

Les écosystèmes marins de la côte de l'Atlantique ont aussi subi d'importants changements dans les années 1990, et les pêcheurs ont délaissé le poisson de fond au profit des mollusques et des crustacés, qui représentent maintenant la prise de plus grande valeur. Bien que ce changement soit principalement attribuable aux pratiques de pêche, les changements climatiques y ont probablement joué un rôle. Un futur réchauffement pourrait nuire aux populations de mollusques et de crustacés dont la région est maintenant tributaire. Ainsi, il a été prouvé que la température de l'eau a beaucoup d'effets sur la reproduction et la distribution du crabe des neiges. On se préoccupe également de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des algues toxiques qui peuvent empoisonner les mollusques et les crustacés. Enfin, dans la région de l'Atlantique, le changement climatique pourrait nuire au saumon et aux exploitations aquacoles.

Dans l'Arctique, les effets les plus importants du changement climatique sur les écosystèmes marins proviendront probablement de la réduction de la couverture de glace de mer. Cette réduction aura un effet sur la productivité marine, la répartition du poisson, les pratiques de pêche (p. ex., l'accessibilité aux sites et la sécurité) et les mammifères marins.

FIGURE 5: Variations relatives du rendement soutenu maximal du doré jaune en Ontario dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration de CO_2. À noter la réduction du rendement soutenu maximal dans le sud de la province et son augmentation dans le centre et le nord.

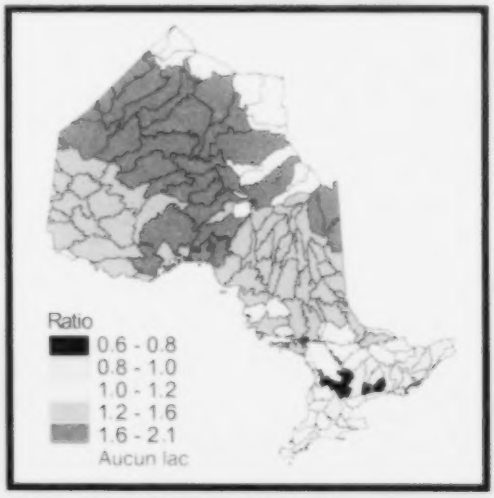


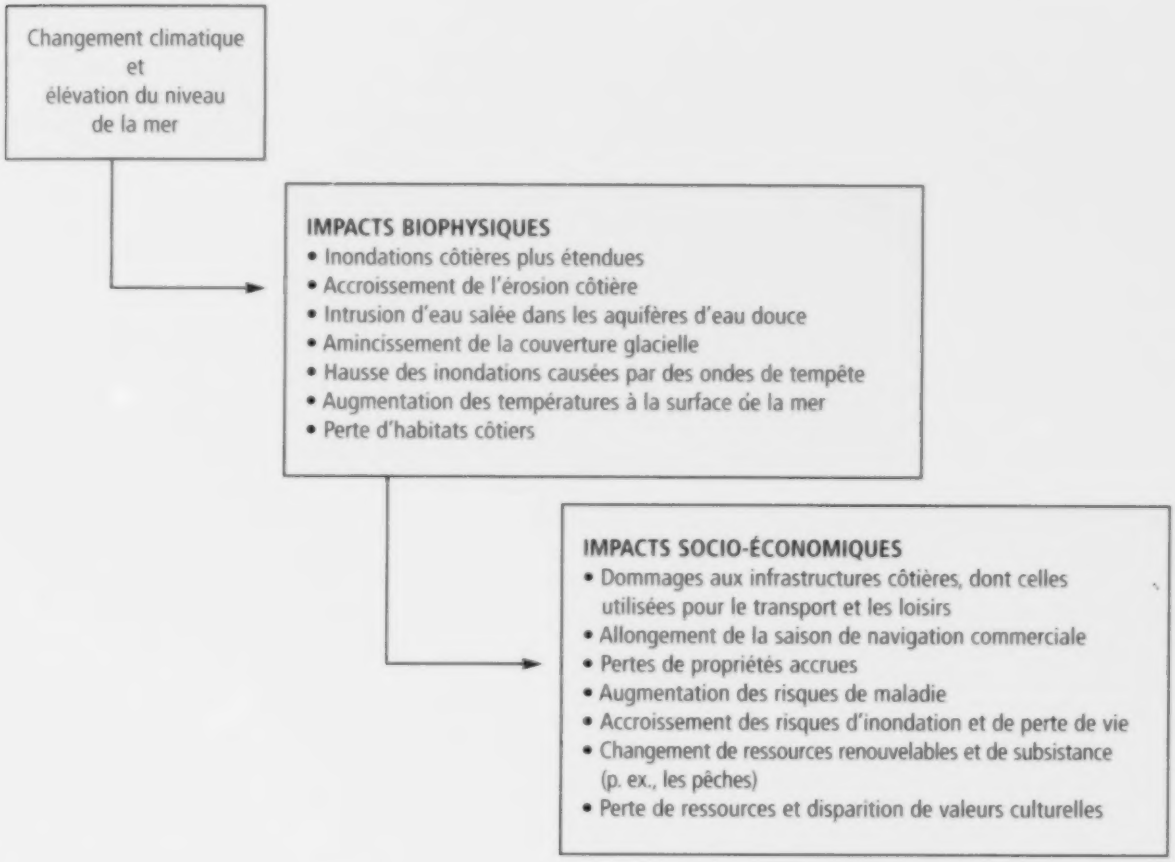
Photo : Gracieuseté de Pêches et Océans Canada

De fait, il y a de plus en plus de preuves indiquant que le changement climatique a déjà commencé à influer sur les pêches et les mammifères marins le long de la côte de l'Arctique. Ainsi, la détérioration de l'état de la population des ours polaires et la baisse des naissances dans la région occidentale de la baie d'Hudson ont été associées à des températures plus chaudes et à une débâcle prématurée. En outre, la capture d'espèces de saumon en dehors des aires de dispersion connues pourrait bien indiquer que la répartition des espèces se modifie. Enfin, l'ouverture du passage du Nord-Ouest à la navigation internationale aura aussi un effet sur les pêches de l'Arctique, en raison de l'augmentation de la pollution et du bruit dans cette région.

Les principaux effets du changement climatique sur les pêches en eaux douces proviendront principalement du réchauffement de la température de l'eau, de l'abaissement des niveaux d'eau, de la modification de la couverture de glace saisonnière et de l'envahissement de nouvelles espèces et d'espèces exotiques. Dans l'ensemble, certains poissons (p. ex., les poissons d'eau chaude) bénéficieront de ces effets, alors que d'autres (p. ex., les espèces d'eau froide) en souffriront. Ainsi, il a été démontré que l'élévation de la température de l'eau réduit le taux de croissance et de survie de la truite arc-en-ciel, alors qu'elle augmente le taux de croissance des populations d'esturgeon de lac. On s'attend à ce que certaines espèces de poisson migrent vers le nord et à ce que d'autres disparaissent localement, ce qui modifierait la durabilité des récoltes (*voir* la figure 5). La hausse des températures et la baisse des niveaux d'eau pourraient exacerber les problèmes liés à la qualité de l'eau et, de là, augmenter la contamination du poisson et porter atteinte à sa santé.

On prend de plus en plus conscience de la nécessité de prévoir les effets du changement climatique sur le secteur des pêches et de s'y préparer. L'industrie de la pêche devra relever le défi de modifier les politiques et les pratiques de façon pertinente et opportune afin de s'adapter aux modifications de la répartition et de l'abondance relatives du poisson. On recommande notamment de suivre les changements, d'accroître la capacité d'adaptation des espèces de poisson en réduisant les stress non climatiques et en conservant la diversité génétique, ainsi que de multiplier les travaux de recherche et d'améliorer les communications. En outre, il est important d'examiner le rôle des mécanismes et des programmes de réglementation et de déterminer s'ils facilitent ou entravent l'adaptation.

FIGURE 6: Impacts biophysiques et socio-économiques éventuels du changement climatique dans les zones côtières.



Les zones côtières

Les zones côtières établissent un lien dynamique entre les terres et les eaux d'une grande diversité écologique et d'une importance économique cruciale. Les éléments naturels de la zone côtière abritent une gamme diversifiée d'espèces. Il s'agit de zones clés pour les pêches et les activités récréatives. L'infrastructure côtière, pour sa part, est essentielle au commerce, au transport et au tourisme. Le littoral du Canada, qui est le plus long au monde, englobe les côtes de l'Atlantique, du Pacifique et de l'Arctique ainsi que les berges de grandes étendues d'eau douce telles que les Grands Lacs.

Le principal effet du changement climatique sur les zones côtières est l'élévation des niveaux d'eau. La hausse du niveau de la mer résulte de l'expansion thermique des eaux océaniques et de l'intensification de la fonte des glaciers et des calottes glaciaires. Il s'agit du principal problème des régions maritimes. À l'inverse, on prévoit une baisse des niveaux d'eau dans les Grands Lacs en raison de la modification des précipitations et du régime d'évaporation. Les autres effets sur les zones côtières résulteront des changements dans les ondes de tempête, ainsi que de la durée et de l'épaisseur de la couverture de glace saisonnière.

À l'échelle planétaire, le niveau de la mer devrait s'élever de 8 à 88 cm entre 1990 et 2100. Cette élévation se poursuivra par la suite et pourrait même s'accélérer au cours du siècle suivant. Cependant, dans l'optique des impacts et de l'adaptation, c'est la hausse du niveau relatif de la mer qui importe. Celle-ci variera à l'échelle régionale, principalement en raison des processus géologiques. Dans l'ensemble, on estime que plus de 7 000 km du littoral marin du Canada sont très sensibles à une élévation du niveau de la mer. Dans les régions vulnérables, l'élévation du niveau de la mer et le changement climatique auront probablement de nombreux effets biophysiques et socio-économiques (*voir* la figure 6).

Image gracieuseté de Ressources Naturelles Canada

De nombreuses régions de la côte de l'Atlantique sont considérées comme très sensibles à l'élévation du niveau de la mer. Il s'agit notamment de la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard, de la côte du Nouveau-Brunswick baignée par le golfe du Saint-Laurent, de la plus grande partie du littoral atlantique de la Nouvelle-Écosse et de certaines parties des centres urbains de Charlottetown et de Saint John. Les principaux problèmes qui pourraient surgir dans ces régions sont l'augmentation des inondations en raison des ondes de tempête, la submersion de certaines parties de la côte, l'érosion accélérée des plages et des dunes côtières, la détérioration des milieux humides (transformation en marais salants) et l'introduction d'eau salée dans les aquifères côtiers. Selon une étude de cas réalisée à l'Île-du-Prince-Édouard, l'intensification des ondes de tempête résultant de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique aurait d'importantes répercussions économiques sur l'infrastructure urbaine et les propriétés de Charlottetown.

Bien qu'en général, la région du Pacifique soit moins sensible à l'élévation du niveau de la mer, certains secteurs importants malgré leur petite superficie sont jugés très sensibles, notamment des portions des îles de la Reine-Charlotte, le delta du Fraser ainsi que des parties de Victoria et de Vancouver. Au nombre des principaux problèmes, mentionnons le bris des digues, les inondations et l'érosion côtière. Le delta du Fraser, dont dépend une population nombreuse en croissance rapide, est protégé par un immense système de digues. Comme certaines parties du delta se trouvent déjà sous le niveau de la mer, une élévation supplémentaire du niveau de la mer dans cette région nuirait aux écosystèmes naturels, aux terres agricoles ainsi qu'aux zones industrielles et résidentielles, à moins d'être accompagnée des mesures d'adaptation adéquates.

La réduction de la couverture de glace de mer sera probablement le plus important effet direct du changement climatique sur le littoral de l'Arctique. Elle prolongera la saison sans glace, ce qui influera sur les déplacements, la sécurité personnelle et l'accessibilité aux collectivités et aux terrains de chasse. Ces modifications auront des répercussions importantes sur les modes de vie traditionnels. En outre, l'agrandissement de la zone d'eau libre augmenterait la sensibilité de la zone côtière à l'élévation du niveau de la mer. Bien que la plus grande partie du littoral de l'Arctique ne soit pas considérée comme sensible à l'élévation du niveau de la mer, il en va différemment pour certaines parties de la côte de la mer de Beaufort, notamment la partie externe du delta du Mackenzie et la péninsule de Tuktoyaktuk. Une élévation du niveau de la mer dans cette région, combinée à la réduction de la couverture de glace et à la dégradation du pergélisol, intensifierait la destruction en cours de la zone côtière et serait problématique pour l'infrastructure et les collectivités côtières.

TABLEAU 1: Stratégies d'adaptation pour les zones côtières.

Option d'adaptation	Objectif	Exemple
Protection	Tenter de prévenir les effets de la mer sur la terre	Construction d'ouvrages longitudinaux, alimentation des plages
Accommodement	Modifier les activités humaines et l'infrastructure en fonction du changement du niveau de la mer	Construction de bâtiments sur pilotis, production agricole axée sur des cultures résistantes au sel et aux inondations
Retrait	Ne pas essayer de protéger les terres contre l'empiétement de la mer	Abandon des terres lorsque les conditions deviennent intolérables

Dans le bassin des Grands Lacs, la baisse à long terme des niveaux d'eau constituerait le principal effet du changement climatique, car elle limiterait l'accès aux quais et aux marinas, diminuerait la capacité de charge des navires, aurait une incidence sur les plages et sur d'autres aires récréatives et entraînerait des problèmes d'approvisionnement en eau, de goût et d'odeur dans les collectivités côtières. Cette baisse des niveaux d'eau pourrait toutefois être profitable pour les régions côtières en diminuant la fréquence et la gravité des inondations et de l'érosion côtière. L'érosion pourrait cependant s'intensifier en hiver en raison de la réduction de la couverture glacière qui assure une protection saisonnière.

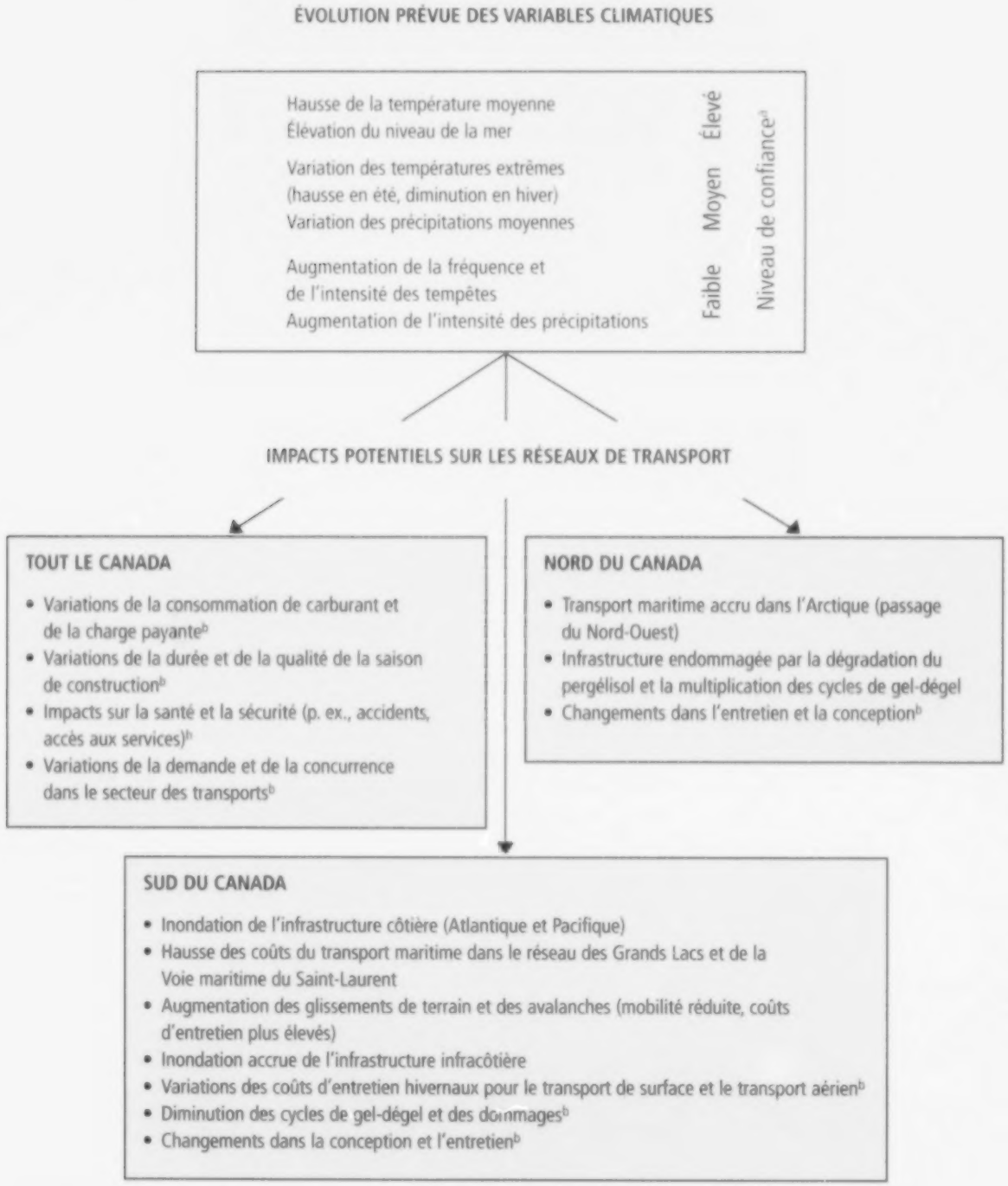
Dans de nombreux cas, les mesures d'adaptation au changement climatique découleront des stratégies utilisées auparavant pour contrer la variation des niveaux d'eau, c'est-à-dire la protection, l'accommodement et le retrait (*voir* le tableau 1). En général, les plans d'adaptation prévoiront une combinaison de ces stratégies. Les stratégies d'adaptation particulières suivantes sont recommandées pour les régions sensibles du Canada : la restauration des dunes de l'Île-du-Prince-Édouard, l'agrandissement et l'amélioration du système de digues installé dans le delta du Fraser et la modification des plans et des politiques de gestion des rives des Grands Lacs.

Les transports

Le transport est un élément essentiel du bien-être économique et social de la population du Canada. Le réseau de transport est composé des modes de transport routier, ferroviaire et aérien ainsi que des modes de transport par voie d'eau, qui jouent tous des rôles divers mais importants dans l'ensemble du pays. L'évaluation de la vulnérabilité de ces modes de transport au changement climatique est une étape clé de la mise en place d'un système de transport sûr et efficace.

Image gracieuseté de Diavik Diamond Mines Inc.

FIGURE 7: Impacts éventuels du changement climatique sur les transports au Canada.



[a] Accord entre les modèles climatiques mondiaux, selon le GIEC[13].

[b] Impacts potentiels, selon des études limitées ou inachevées

On pense que les changements dans les températures, les précipitations, les événements extrêmes et les niveaux d'eau constitueront les principaux effets du changement climatique sur le secteur des transports (*voir* la figure 7). Les éléments les plus vulnérables du réseau de transport sont les routes de glace, la navigation sur les Grands Lacs, l'infrastructure côtière et l'infrastructure installée sur le pergélisol. Les effets varieront selon les régions et s'accompagneront de défis et de nouvelles possibilités. Dans certains cas, les avantages seront plus grands que les dommages futurs, et le réchauffement climatique pourrait se traduire par des économies pour ceux qui construisent, entretiennent et utilisent l'infrastructure de transport du Canada.

Dans le sud du pays, l'augmentation des températures estivales aura des effets néfastes sur l'intégrité structurale des chaussées et des chemins de fer en détériorant le revêtement et en causant le flambage des rails. On estime cependant que les pertes subies pendant l'été dans cette région seront compensées par les avantages prévus pour l'hiver. La détérioration des chaussées causée par les cycles de gel et de dégel diminuera probablement dans la plupart des régions du sud du Canada, tout comme les coûts (p. ex., le déneigement par les chasse-neige et le salage) et les accidents associés aux tempêtes hivernales.

La modification de la configuration des précipitations pourrait aussi avoir un effet sur l'infrastructure de transport. L'augmentation de l'intensité et de la fréquence des fortes pluies influera sur la conception des routes, des autoroutes, des ponts et des ponceaux en raison de la gestion des eaux de ruissellement, particulièrement dans les régions urbaines où les routes occupent une grande partie de la superficie. L'infrastructure de transport telle que les ponts et les garages de stationnement pourrait se détériorer de façon accélérée lorsque les précipitations sont plus fréquentes, particulièrement dans les régions qui reçoivent des pluies acides. L'augmentation des coulées de débris, des avalanches et des inondations résultant de la modification de la fréquence et de l'intensité des précipitations pourrait aussi avoir un effet sur le réseau de transport.

Bien que la hausse des températures comportera des avantages pour le réseau de transport dans le nord du Canada (p. ex., les chemins de fer bénéficieraient de la diminution des périodes de froid extrême), elle apportera aussi plusieurs nouveaux défis. La détérioration du pergélisol et ses effets sur l'intégrité structurale des routes, des chemins de fer et des pistes sont des préoccupations clés. Les retombées sociales et économiques du raccourcissement de la saison d'utilisation des routes de glace sont aussi des questions importantes. En raison du réchauffement récent de la saison hivernale, les gouvernements de l'Alberta et du Manitoba ont dépensé des millions de dollars pour envoyer par avion des produits de consommation dans les collectivités habituellement desservies par les routes de glace.

Dans les régions côtières, la modification des niveaux d'eau influera sur l'infrastructure de transport et l'efficacité de la navigation. L'élévation du niveau de la mer multipliera les inondations et les ondes de tempête, ce qui pourrait avoir des conséquences pour les levées empierrées, les ponts, les installations maritimes et les infrastructures municipales. Dans le réseau des Grands Lacs et de la voie maritime du Saint-Laurent, la baisse des niveaux d'eau nuirait au transport maritime en réduisant la quantité de marchandises transportées. Dans le nord du pays, par contre, la réduction de la couverture de glace et l'ouverture du passage du Nord-Ouest pourraient accroître les possibilités de transport maritime et offrir toute une gamme de possibilités et de défis nouveaux, notamment au chapitre du développement économique et des préoccupations relatives à la sécurité et à l'environnement.

La plupart des impacts du changement climatique sur le réseau de transport au cours du prochain siècle devraient être faciles à gérer au Canada. Les principales mesures d'adaptation consistent notamment à intégrer le changement climatique à la conception et à l'entretien de l'infrastructure, à améliorer les systèmes d'information et à accroître la résistance et la durabilité des réseaux de transport. Ainsi, pour déterminer la trajectoire qu'emprunteront les routes et les pipelines dans le nord du Canada, il faudra tenir compte de la modification future du pergélisol.

La santé et le bien-être humains

Les Canadiens accordent une grande importance à la santé et aux services de santé. Le bien-être physique, mental et social est un indicateur clé de la qualité de vie : chaque année, plus de 100 milliards de dollars sont consacrés aux services de santé. Si la santé est influencée par un grand nombre de facteurs économiques et sociaux, les conditions climatiques variables du pays jouent également un rôle à ce chapitre. Il se dégage des tendances saisonnières dans les taux de maladies et de décès, et les événements climatiques extrêmes et les catastrophes climatiques ont des effets aigus et chroniques sur la santé.

Les effets du changement climatique sur la santé et le secteur des soins de santé au Canada seront directs (p. ex., l'augmentation des taux de morbidité et de mortalité liées à la température) et indirects (p. ex., les maladies à transmission vectorielle). Il en découlera certains avantages pour la santé humaine, ainsi que de nombreux défis (voir le tableau 2). On pense qu'en raison du changement climatique, il sera plus difficile de conserver notre santé et notre bien-être. On se préoccupe particulièrement des effets qu'il aura sur les groupes les plus vulnérables de la population, notamment les aînés, les jeunes, les handicapés et les pauvres.

On s'attend à ce que le réchauffement des températures augmente la fréquence des maladies liées à la chaleur (p. ex., l'épuisement par la chaleur et les coups de chaleur) et exacerbent les troubles des systèmes circulatoire, respiratoire et nerveux. La multiplication des vagues de chaleur, particulièrement dans les régions urbaines, pourrait accroître considérablement le nombre de décès. En outre, des températures nocturnes plus chaudes pendant les vagues de chaleur pourraient nuire à la santé humaine, puisque les températures nocturnes plus fraîches apportent habituellement un soulagement essentiel pendant les canicules. Par ailleurs, le fait qu'il y ait moins de journées extrêmement froides pendant l'hiver pourrait être avantageux, puisque la mortalité attribuable au froid diminuerait, particulièrement chez les sans-abri.

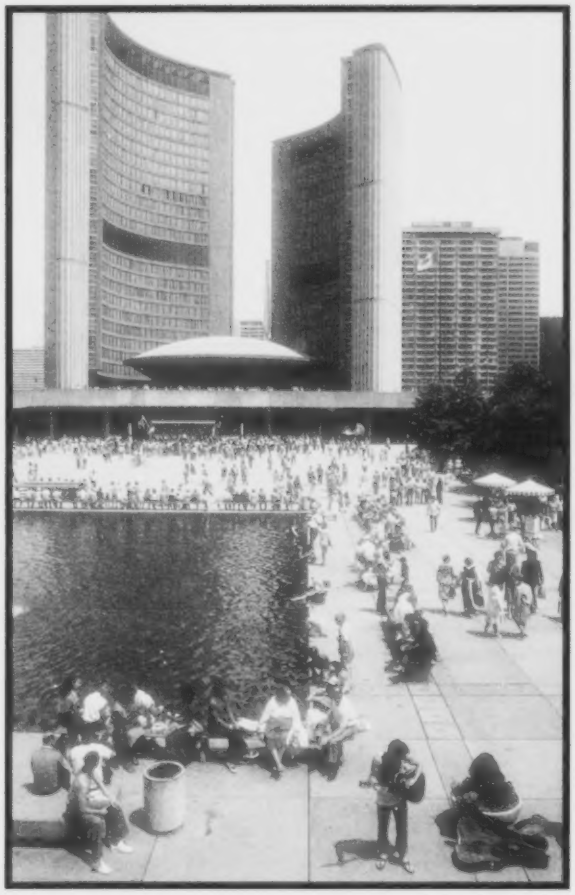


Image gracieuseté de Ressources Naturelles Canada

Les personnes atteintes d'un trouble respiratoire tel que l'asthme seront touchées par la modification des taux de pollution moyens et maximaux. En outre, l'élévation des températures pourrait aussi accroître les concentrations d'ozone troposphérique et les épisodes de smog. Le plus grand nombre de particules aéroportées, résultant de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des feux de forêt, viendrait aggraver la pollution atmosphérique. Il a été démontré que les particules aéroportées causent des problèmes au nez, à la gorge, au système respiratoire et aux yeux.

On se préoccupe aussi des conséquences que pourraient avoir les températures plus élevées et les chutes de pluie plus fortes sur les maladies d'origine hydrique. Les fortes chutes de pluie et les inondations connexes peuvent évacuer les bactéries, les eaux usées,

TABLEAU 2: Impacts éventuels du changement et de la variabilité climatiques sur la santé.

Préoccupations relatives à la santé	Exemples de vulnérabilités liées à la santé
Taux de morbidité et de mortalité liées à la température	• Maladies liées au froid et à la chaleur • Maladies respiratoires et cardiovasculaires • Augmentation des risques pour la santé liés au travail
Effets des événements climatiques extrêmes sur la santé	• Détérioration de l'infrastructure de santé publique • Blessures et maladies • Stress social et mental lié aux catastrophes • Risques pour la santé liés au travail • Déplacement des populations
Problèmes de santé liés à la pollution atmosphérique	• Exposition à de nouveaux polluants et allergènes présents dans l'atmosphère et dans les locaux • Asthme et autres maladies respiratoires • Crises cardiaques, accidents vasculaires cérébraux et autres maladies cardiovasculaires • Cancer
Effets sur la santé de la contamination d'origine hydrique et alimentaire	• Maladies entériques et empoisonnement causés par les contaminants chimiques et biologiques
Maladies à transmission vectorielle et zoonoses	• Modification de l'évolution des maladies causées par les bactéries, les virus et d'autres pathogènes transportés par les moustiques, les tiques et d'autres vecteurs
Effets sur la santé de l'exposition aux rayons ultraviolets	• Détérioration et cancer de la peau • Cataractes • Dysfonctionnement immunitaire
Vulnérabilités des populations des collectivités rurales et urbaines	• Aînés • Enfants • Malades chroniques • Personnes à faible revenu et sans-abri • Habitants du Nord • Personnes handicapées • Personnes vivant des produits de la terre
Effets socio-économiques sur la santé et le bien-être communautaires	• Perte de revenu et de productivité • Perturbation sociale • Atteinte à la qualité de vie • Augmentation des coûts des soins de santé • Effets des technologies d'atténuation sur la santé • Insuffisance de la capacité institutionnelle en matière de catastrophes

les engrais et d'autres déchets organiques vers les voies d'eau et les aquifères. Un grand nombre des flambées de maladies d'origine hydrique survenues en Amérique du Nord, notamment celle de la bactérie *E. coli* qui s'est produite en 2000 à Walkerton, en Ontario, ont été précédées de fortes précipitations. L'élévation des températures est propice à la multiplication des bactéries et à la croissance d'organismes toxiques, notamment ceux qui sont responsables des marées rouges (prolifération d'algues toxiques).

En outre, le réchauffement climatique pourrait amener des conditions plus favorables à l'apparition et à la prolifération de maladies à transmission vectorielle,

puisqu'il poussera certaines espèces de moustiques, de tiques et de mouches à migrer vers le nord et qu'il accélérera le développement de pathogènes. La malaria, le virus du Nil occidental, la maladie de Lyme et l'encéphalite équine de l'Est et de l'Ouest sont au nombre des maladies qui pourraient soulever de l'inquiétude. Les maladies transmises par les moustiques (p. ex., le virus du Nil occidental et la malaria) pourraient se multiplier en raison de l'augmentation des aires de reproduction résultant de la multiplication des inondations.

Les collectivités nordiques devront affronter d'autres problèmes liés à la santé en raison des effets du changement climatique sur la répartition et les caractéristiques du pergélisol, de la couverture de glace de mer et du manteau nival. De fait, de nombreuses preuves indiquent que les régions nordiques subissent déjà les effets du changement climatique. Au nombre des conséquences préoccupantes qui en découlent, mentionnons la sécurité du transport, la capacité de pratiquer les activités de chasse traditionnelles, l'accès à l'eau potable et la contamination du poisson.

De nouvelles questions se posent lorsqu'il s'agit de l'incidence du changement climatique sur la santé – par exemple, les effets possibles sur les allergènes et le comportement humain. L'élévation des températures, la concentration plus élevée de CO_2 dans l'atmosphère et la prolongation des saisons de croissance favoriseront la croissance des plantes et la production de pollen. La multiplication des catastrophes naturelles et des événements climatiques extrêmes pourrait affecter le comportement humain, causant des stress psychologiques tels que l'anxiété et la dépression.

Bien que les Canadiens soient déjà habitués à un climat variable, le changement climatique exercera de nouvelles pressions sur le secteur de la santé, qui nécessitera des mesures d'adaptation supplémentaires. Afin de maximiser l'efficacité de ces mesures, il faut intégrer la question du changement climatique aux cadres actuels axés sur la santé de la population. Il est également important de coordonner les efforts déployés par différents groupes afin d'élaborer une approche concertée à l'égard du changement climatique et de la santé. Enfin, il faut accroître les activités de surveillance et de sensibilisation.

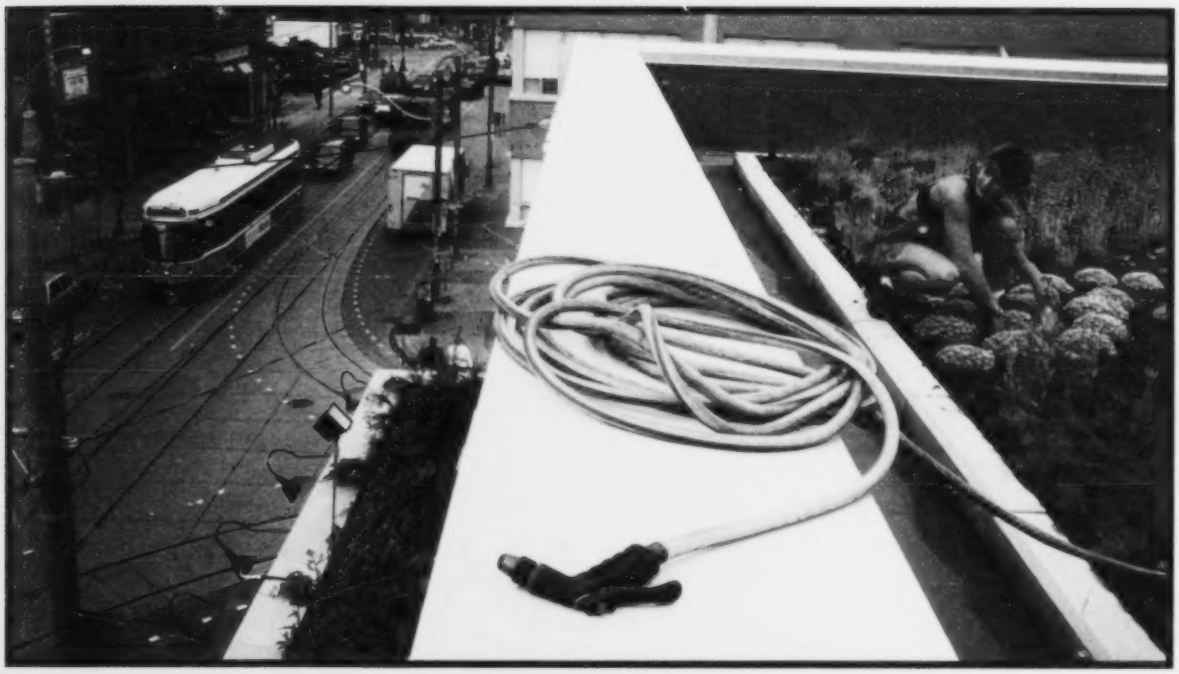
Les mesures d'adaptation suivantes peuvent réduire considérablement les effets du changement climatique sur la santé : la création de vaccins pour les nouvelles maladies, l'élaboration de programmes d'éducation publique visant à réduire l'exposition aux maladies et la transmission des maladies, ainsi que l'amélioration des plans de gestion des catastrophes afin de mieux se préparer aux situations d'urgence. La mise en place de systèmes de préalerte en cas de chaleur ou de froid extrême est une stratégie d'adaptation efficace qui a été récemment lancée à Toronto, en Ontario. Si l'on réduit l'effet d'îlot thermique dans les régions urbaines, on réduira aussi les futurs effets du changement climatique.

Les besoins en matière de recherche et les lacunes sur le plan des connaissances

Bien que chaque secteur ait des besoins uniques en matière de recherche, il se dégage du rapport des problèmes communs. Ainsi, tous les secteurs bénéficieraient de travaux de recherche sur les effets sociaux et économiques, ainsi que de l'amélioration de l'accès aux données et de leur disponibilité. On a aussi besoin de travaux de recherche où les questions intersectorielles liées aux impacts du changement climatique et à l'adaptation sont intégrées et où l'on examine leurs interrelations et interdépendances. En outre, il est souvent recommandé d'axer les travaux de recherche sur les régions et les secteurs considérés comme les plus vulnérables, ainsi que sur les changements climatiques qui représentent les plus grands risques pour les systèmes humains. Il s'agit notamment des événements climatiques extrêmes, du changement climatique rapide et du dépassement des seuils critiques.

Le rapport met en lumière d'autres d'autres besoins en matière de recherche et d'autres lacunes sur le plan des connaissances. Il faudrait entre autres :

1) mieux comprendre les effets de l'interaction du changement climatique et des stress non climatiques, par exemple l'évolution de l'utilisation des sols et la croissance de la population;



2) mieux comprendre les liens entre les sciences et les politiques et la façon de les renforcer;

3) réaliser des études sur les conséquences sociales, économiques et environnementales qui pourraient découler de la mise en œuvre des mesures d'adaptation;

4) mieux comprendre la capacité actuelle d'affronter le stress et trouver des moyens d'accroître la capacité d'adaptation;

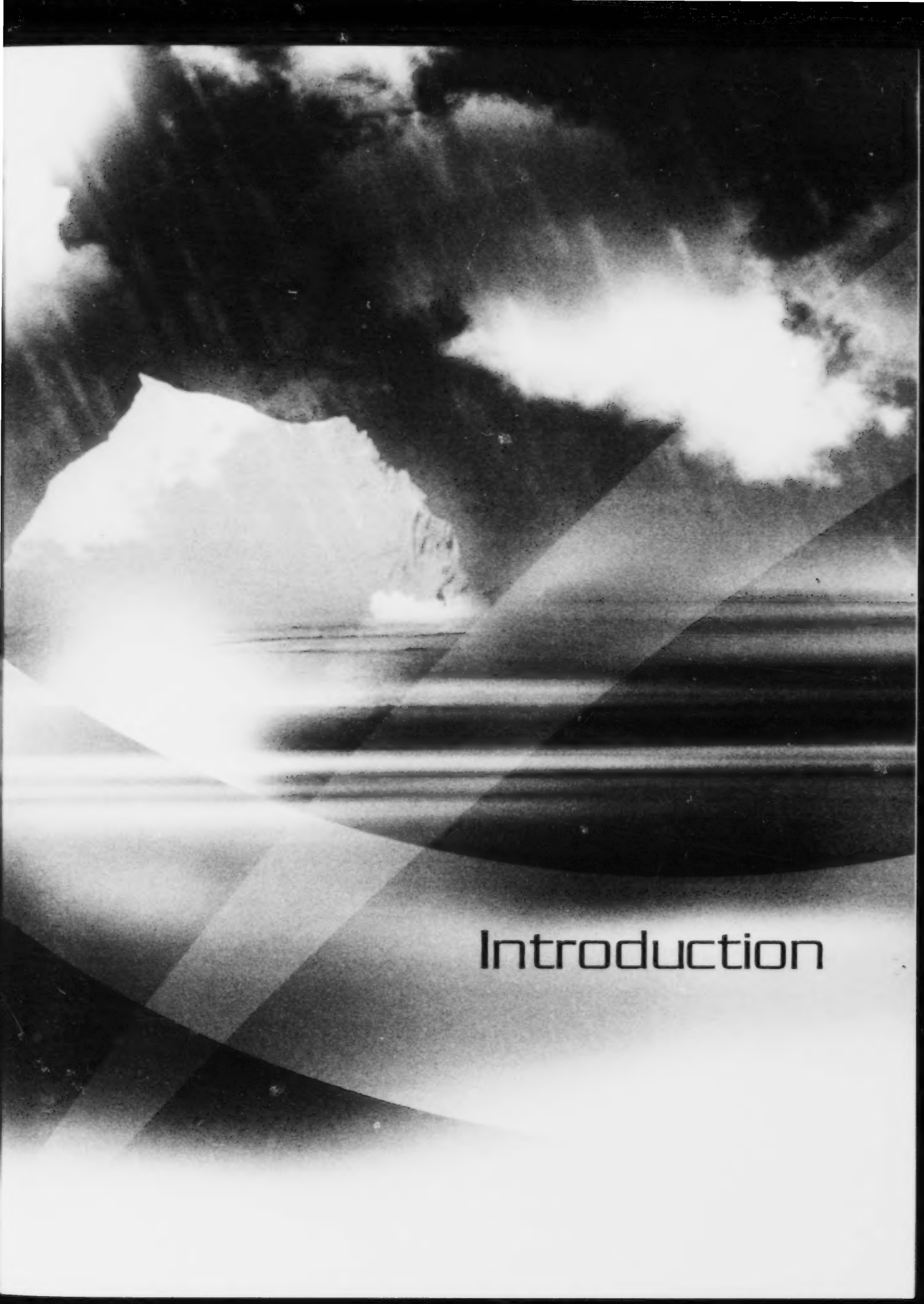
5) connaître les obstacles à l'adaptation et trouver des moyens de les atténuer;

6) réaliser des études sur la façon d'intégrer le changement climatique aux cadres de gestion du risque en place et à la planification à long terme;

7) mieux comprendre les facteurs qui influent sur les décisions liées aux mesures d'adaptation et trouver comment désigner des responsables de leur mise en œuvre.

Conclusion

Les communautés scientifiques et politiques internationales reconnaissent maintenant que le changement climatique est un risque qu'il faut contrer par des mesures d'adaptation, ainsi que des mesures d'atténuation. Si le changement climatique se produit selon les prévisions du GIEC pour le siècle actuel, les conséquences seraient substantielles pour le Canada. La vulnérabilité des secteurs et des régions, qui découle de la nature du changement climatique, de la sensibilité du secteur ou de la région et de sa capacité d'adaptation, varierait. Bien que le futur changement climatique apportera tant des avantages que des défis, un consensus général se dégage de la littérature scientifique : les effets nuisibles l'emporteront dans tous les scénarios de réchauffement, même le plus modeste. Il est crucial de mettre en œuvre des mesures d'adaptation afin de réduire le plus possible ces effets et d'exploiter au maximum les avantages éventuels. Pour assurer l'efficacité des stratégies d'adaptation, il faut tenir compte des vulnérabilités actuelles et futures et intégrer la question du changement climatique aux cadres actuels de gestion des risques. En poursuivant la recherche sur les effets éventuels du changement climatique et les mesures d'adaptation, on pourrait contribuer à réduire la vulnérabilité du Canada au changement climatique.



Introduction

« Aujourd'hui, nous sommes confrontés à une dure réalité : les activités anthropiques ont altéré l'atmosphère de la Terre et modifié l'équilibre de notre climat naturel. »[1]

On a souvent décrit le changement climatique comme « l'un des défis environnementaux les plus urgents auxquels nous sommes confrontés ».[2] Nos styles de vie, notre santé et notre bien-être socio-économique sont tous touchés par le climat. Les changements du climat peuvent avoir des répercussions sur toutes les régions du monde et sur pratiquement tous les secteurs de l'économie. Bien que les impacts prévus ne se manifestent pas de façon uniforme partout dans le monde, tous les pays devront faire face, d'une façon ou d'une autre, aux effets du changement climatique.

Un climat en évolution constante

« Un nombre croissant d'observations nous donne aujourd'hui une image d'ensemble d'une planète qui se réchauffe et de plusieurs autres changements dans le système climatique. »[3]

De par sa nature, le climat est variable, et il a connu de fortes variations au cours de l'histoire de la Terre. Pendant les deux derniers millions d'années, le climat de la Terre a connu tour à tour des périodes glaciaires et des périodes chaudes – dites interglaciaires. En outre, on observe des changements climatiques en tout temps à des échelles temporelles plus brèves. Au cours des dix derniers millénaires, par exemple, la plupart des régions du Canada ont connu à différents moments des conditions climatiques plus douces, plus fraîches, plus humides et plus sèches que de nos jours. On peut même dire que la seule constante, lorsqu'il s'agit du climat, c'est l'état de changement permanent lui-même.

Un certain nombre de facteurs régissent la variabilité climatique, notamment les changements de l'orbite terrestre et de la production solaire, les cycles des taches solaires, les éruptions volcaniques et les fluctuations des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols. Ces facteurs évoluent selon diverses échelles temporelles, mais, si on examine leurs effets combinés, on peut expliquer de façon efficace la plus grande partie de la variabilité climatique des derniers millénaires. Toutefois, ces facteurs naturels ne peuvent rendre compte ni des augmentations de température ni de l'ensemble des changements climatiques connexes observés au cours du XX^{e} siècle (*voir* la figure 1).

Au cours du siècle dernier, la température moyenne à la surface de la Terre s'est élevée d'environ 0,6 °C (*voir* la figure 1; *voir également* la référence 5). Même si ce taux de réchauffement n'est pas sans précédent, c'est vraisemblablement le plus élevé de tous les siècles des derniers millénaires.[5] Toutes les régions du monde n'ont pas connu la même amplitude de réchauffement; certaines régions se sont réchauffées beaucoup plus que d'autres, alors que d'autres régions, notamment celles d'une étendue relativement petite, ont même connu un refroidissement. Le moment où est survenu le réchauffement a lui aussi varié. La majeure partie du réchauffement s'est produite au cours de deux périodes distinctes du XX^{e} siècle (*voir* la figure 1a; *voir également* la référence 5). De plus, on a observé des différences saisonnières dans l'importance du réchauffement (*voir* la référence 6 pour les données canadiennes), et la hausse des températures minimales nocturnes a été environ deux fois plus importante que celle des températures maximales diurnes.[5]

Ce réchauffement observé au cours du XX^{e} siècle a été accompagné d'un certain nombre d'autres changements dans le système climatique.[5] Par exemple, il est

« Aujourd'hui, nous sommes confrontés à une dure réalité : les activités anthropiques ont altéré l'atmosphère de la Terre et modifié l'équilibre de notre climat naturel. »[1]

On a souvent décrit le changement climatique comme « l'un des défis environnementaux les plus urgents auxquels nous sommes confrontés ».[2] Nos styles de vie, notre santé et notre bien-être socio-économique sont tous touchés par le climat. Les changements du climat peuvent avoir des répercussions sur toutes les régions du monde et sur pratiquement tous les secteurs de l'économie. Bien que les impacts prévus ne se manifestent pas de façon uniforme partout dans le monde, tous les pays devront faire face, d'une façon ou d'une autre, aux effets du changement climatique.

Un climat en évolution constante

« *Un nombre croissant d'observations nous donne aujourd'hui une image d'ensemble d'une planète qui se réchauffe et de plusieurs autres changements dans le système climatique.* »[3]

De par sa nature, le climat est variable, et il a connu de fortes variations au cours de l'histoire de la Terre. Pendant les deux derniers millions d'années, le climat de la Terre a connu tour à tour des périodes glaciaires et des périodes chaudes – dites interglaciaires. En outre, on observe des changements climatiques en tout temps à des échelles temporelles plus brèves. Au cours des dix derniers millénaires, par exemple, la plupart des régions du Canada ont connu à différents moments des conditions climatiques plus douces, plus fraîches, plus humides et plus sèches que de nos jours. On peut même dire que la seule constante, lorsqu'il s'agit du climat, c'est l'état de changement permanent lui-même.

Un certain nombre de facteurs régissent la variabilité climatique, notamment les changements de l'orbite terrestre et de la production solaire, les cycles des taches solaires, les éruptions volcaniques et les fluctuations des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols. Ces facteurs évoluent selon diverses échelles temporelles, mais, si on examine leurs effets combinés, on peut expliquer de façon efficace la plus grande partie de la variabilité climatique des derniers millénaires. Toutefois, ces facteurs naturels ne peuvent rendre compte ni des augmentations de température ni de l'ensemble des changements climatiques connexes observés au cours du XX^e^ siècle (*voir* la figure 1).

Au cours du siècle dernier, la température moyenne à la surface de la Terre s'est élevée d'environ 0,6 °C (*voir* la figure 1; *voir également* la référence 5). Même si ce taux de réchauffement n'est pas sans précédent, c'est vraisemblablement le plus élevé de tous les siècles des derniers millénaires.[4] Toutes les régions du monde n'ont pas connu la même amplitude de réchauffement; certaines régions se sont réchauffées beaucoup plus que d'autres, alors que d'autres régions, notamment celles d'une étendue relativement petite, ont même connu un refroidissement. Le moment où est survenu le réchauffement a lui aussi varié. La majeure partie du réchauffement s'est produite au cours de deux périodes distinctes du XX^e^ siècle (*voir* la figure 1a; *voir également* la référence 5). De plus, on a observé des différences saisonnières dans l'importance du réchauffement (*voir* la référence 6 pour les données canadiennes), et la hausse des températures minimales nocturnes a été environ deux fois plus importante que celle des températures maximales diurnes.

Ce réchauffement observé au cours du XX^e^ siècle a été accompagné d'un certain nombre d'autres changements dans le système climatique.[5] Par exemple, il est

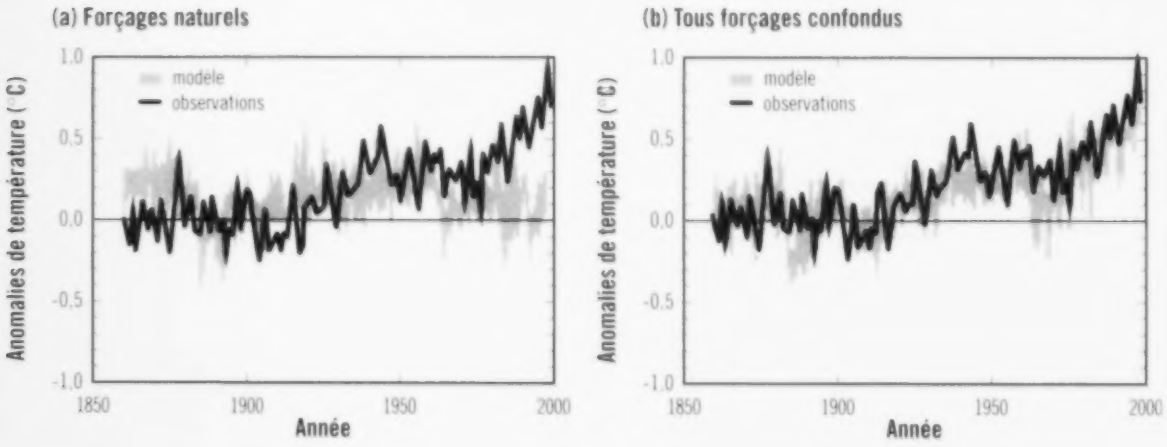
très probable qu'il y a eu une augmentation dans la fréquence des jours de chaleur extrême, ainsi qu'une diminution du nombre de jours de froid extrême.[5] Le niveau de la mer s'est élevé à l'échelle planétaire, alors que l'épaisseur et l'étendue de la glace de mer ont diminué. De plus, l'étendue de la couverture de la neige et des glaces a très probablement décru, et l'épaisseur du pergélisol a diminué dans beaucoup de régions du Nord. Dans l'hémisphère Nord, les précipitations annuelles auraient augmenté, et les épisodes de fortes précipitations seraient devenus plus communs.[5]

Quelle est la cause de ces changements climatiques? Beaucoup de recherches ont porté sur cette question, dont la réponse est devenue de plus en plus certaine avec le temps : « (...) la majeure partie du réchauffement observé ces cinquante dernières années est imputable aux activités humaines »,[3] ce qui revient à dire qu'on ne peut expliquer les changements climatiques récents qu'en prenant en compte les effets de concentrations atmosphériques croissantes de gaz à effet de serre (*voir* la figure 1).

L'effet de serre

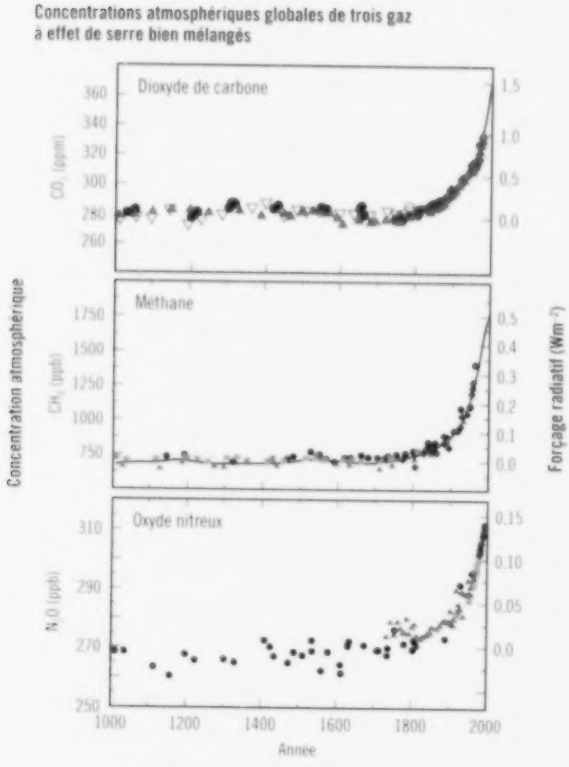
Les gaz à effet de serre comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde de diazote (N_2O) sont émis par des processus naturels, notamment la décomposition et la respiration des plantes, les éruptions volcaniques et les flux des océans (p. ex., l'évaporation). Une fois dans l'atmosphère, ces gaz piègent et reflètent la chaleur vers la surface de la Terre, selon un processus connu sous le nom d'effet de serre, qui est nécessaire pour le maintien de températures autorisant la vie sur Terre. Toutefois, au cours du siècle dernier, les activités anthropiques comme la combustion des combustibles fossiles et les changements d'affectation des terres ont considérablement accru les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ainsi, la concentration atmosphérique de CO_2 a augmenté d'environ 30 p. 100 depuis la révolution industrielle, passant de 280 parties par million (ppm) vers la fin du XVIII[e] siècle à environ 372 ppm en 2002 (*voir* la figure 2; *voir également* la référence 7). Les humains ont aussi introduit dans l'atmosphère d'autres gaz

FIGURE 1 : Profil des enregistrements des températures à l'échelle planétaire et interpolations obtenus à l'aide de modèles mathématiques : a) en utilisant les facteurs naturels, et b) en utilisant les facteurs naturels et les effets des gaz à effet de serre et des aérosols (tiré de la référence 4).



à effet de serre encore plus puissants, comme les halocarbures (p. ex., les chlorofluorocarbures). Cet accroissement des concentrations des gaz à effet de serre attribuable aux activités humaines renforce l'effet de serre naturel de la Terre.

FIGURE 2 : Tendance des concentration atmosphériques de CO_2, CH_4 et N_2O au cours des 1 000 dernières années (tire de la référence 3)



Perspectives d'avenir

On a utilisé divers scénarios climatiques pour prévoir comment le climat pourrait changer au cours des années à venir. Ces projections, résumées dans le *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, ne décrivent pas nécessairement ce qui va se passer, car elles correspondent plutôt aux conditions de l'un ou l'autre des nombreux scénarios futurs plausibles. Toutefois, de façon générale, elles semblent indiquer que la température moyenne à l'échelle planétaire pourrait augmenter de 1,4 à 5,8 °C entre 1990 et 2100 (*voir* la figure 3; *voir également* la référence 3).

En raison de sa latitude nordique et de sa grande masse continentale, le Canada devrait connaître des taux de réchauffement supérieurs à ceux de beaucoup d'autres régions du monde, qui pourraient atteindre, selon certains, plus du double de la moyenne planétaire. Les changements climatiques pourraient être variables dans l'ensemble du pays; on prévoit que les plus forts taux de réchauffement toucheraient l'Arctique et le sud et le centre des Prairies (*voir* la figure 4).

Bien que l'incertitude associée à la projection des changements dans les précipitations soit plus grande que celle pour la température, la plupart des observateurs s'attendent à une augmentation des précipitations annuelles moyennes ainsi qu'à des changements dans les profils des précipitations. Par exemple, on prévoit que les épisodes de fortes précipitations deviendront plus fréquents, et on devrait probablement observer des variations de plus en plus fortes des précipitations au fil des ans.[5] De plus, les différences saisonnières devraient elles aussi être importantes, étant donné que la plupart des modèles semblent indiquer que, presque partout au Canada, il y aura une diminution des précipitations en été, mais une augmentation en hiver (*voir* la figure 5). On s'attend à ce que les changements saisonniers dans les profils des précipitations soient plus marqués que ceux des totaux annuels, en termes d'impacts sur les activités anthropiques et sur les écosystèmes.

FIGURE 3 : Augmentations de température projetées selon différents scénarios, dans le contexte des données historiques des 1 000 dernières années (tiré de la référence 8).

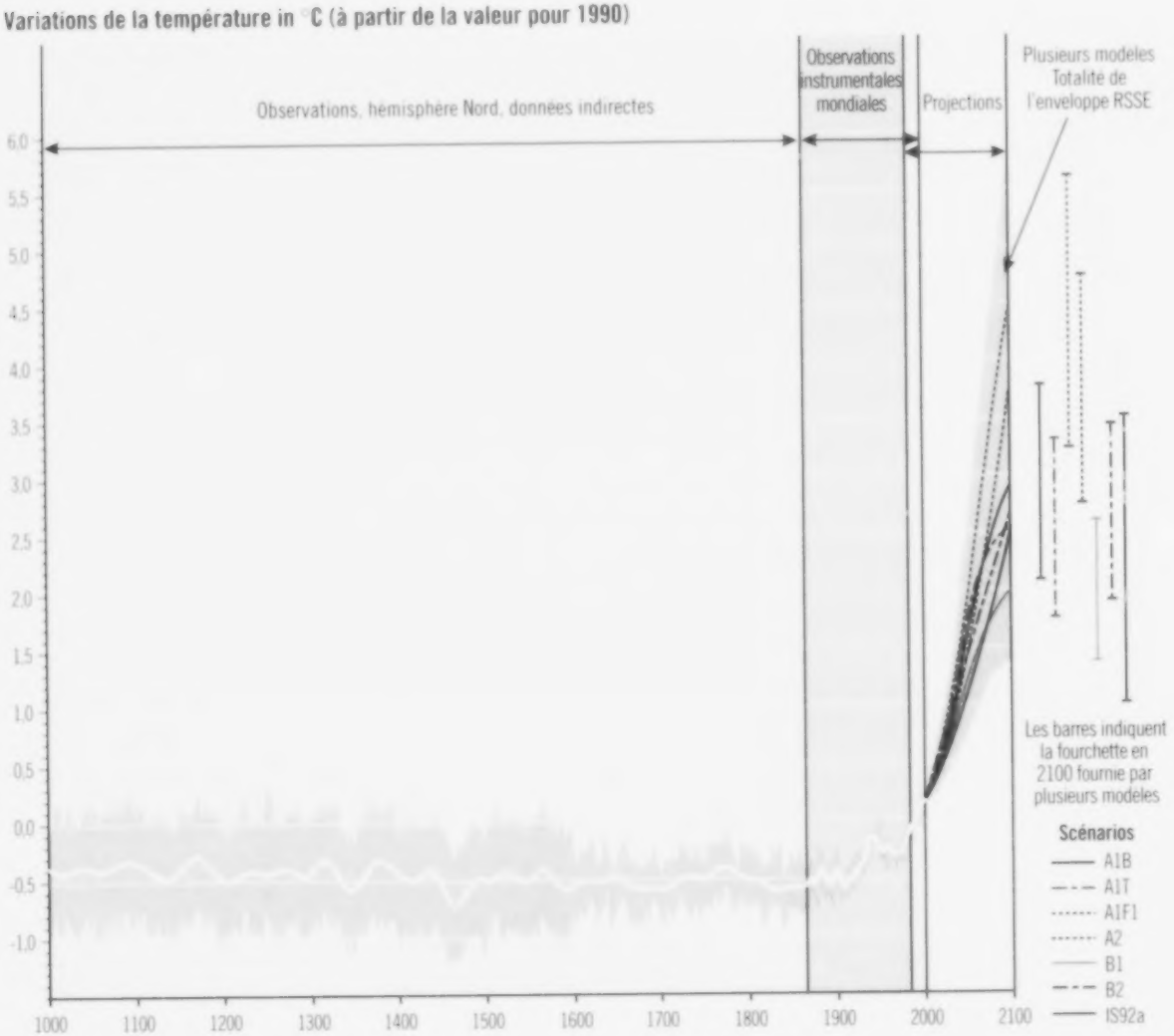
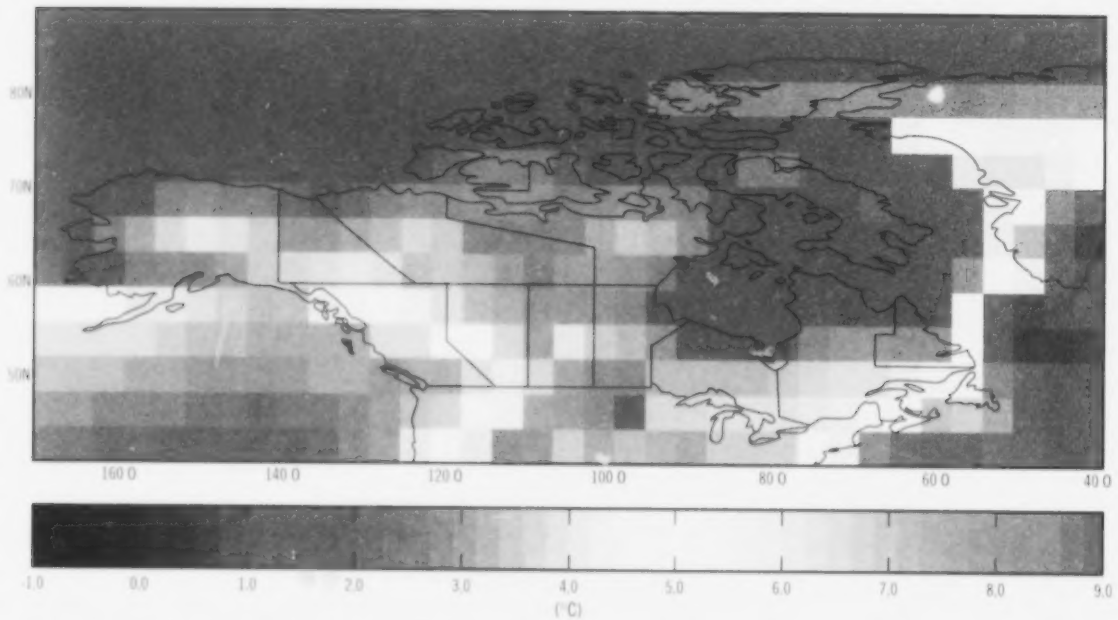
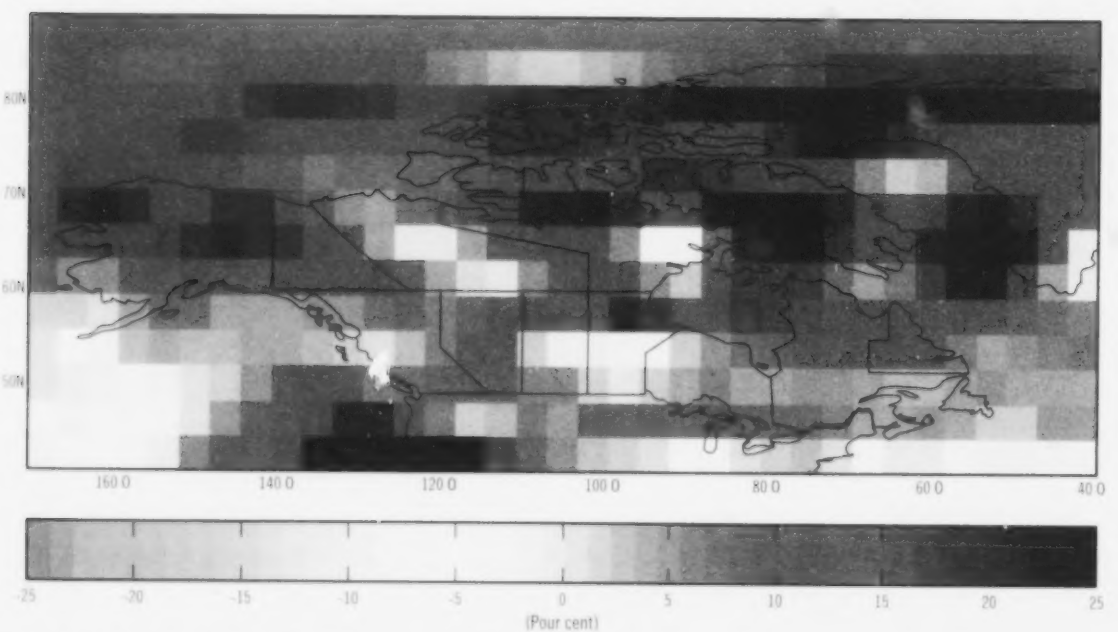


FIGURE 4 : Projections de la température annuelle pour les années 2080, selon le modèle couplé global canadien 2-A21



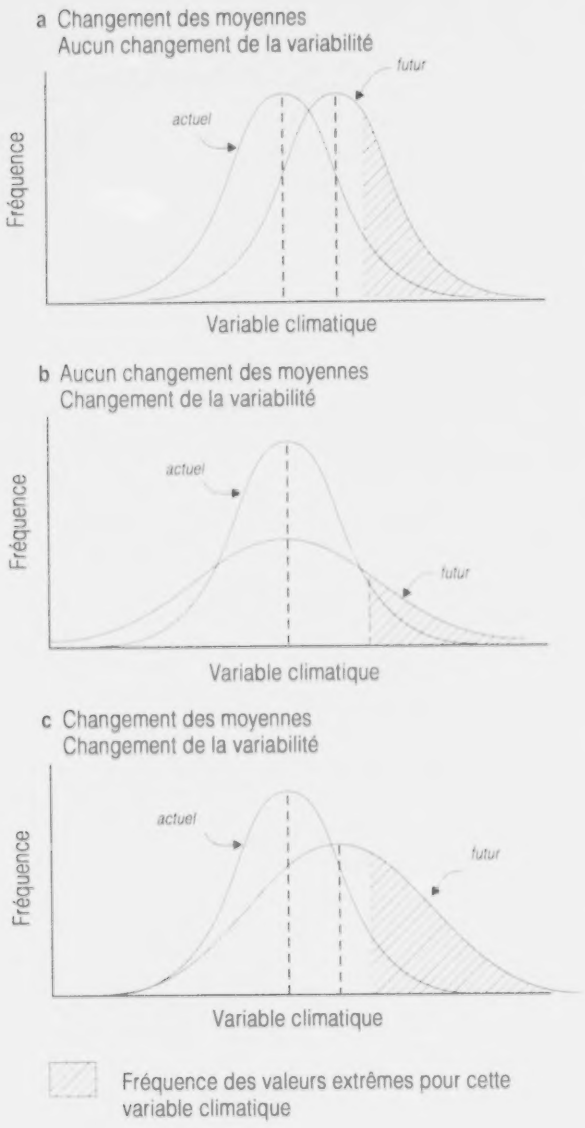
Graphique fourni par l'Institut canadien d'études climatologiques.

FIGURE 5 : Changements dans les précipitations, selon le modèle couplé global canadien 2-A21, pour la période de 2070 à 2099



Graphiques fournis par l'Institut canadien d'études climatologiques.

FIGURE 6 : Les changements dans les moyennes et la variabilité du climat devraient faire augmenter la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes (*tiré de* la référence 9)



La probabilité de phénomènes climatiques extrêmes devrait également changer au cours des années à venir. On devrait observer d'autres changements s'il y a un déplacement des valeurs moyennes (comme celui qui est prévu pour les températures annuelles), un changement dans la variabilité climatique, ou les deux (*voir* la figure 6).[9] Les augmentations de la fréquence des phénomènes extrêmes sont l'une des plus graves préoccupations dues au changement climatique. Ces extrêmes sont notamment des vagues de chaleur, des sécheresses, des inondations et des tempêtes. Les pertes récentes dues à la tempête de verglas de 1998 et aux inondations dans la vallée de la rivière Saguenay en 1996 témoignent de la vulnérabilité du Canada à des événements semblables (*voir* l'encadré 1).

Diversité des impacts

Selon un nombre croissant de signes, le changement climatique touche déjà les humains et les systèmes naturels du monde entier. Au Canada, ces indices sont plus évidents dans le nord, où l'on observe des altérations des modes de vie traditionnels dus à des changements de la couverture de glace, de la stabilité du pergélisol et de la distribution de la faune.[11] Par exemple, des changements dans la distribution et l'étendue des glaces de mer ont rendu plus difficiles et plus dangereux les voyages dans le nord, ainsi que l'accès aux zones de chasse.[12] Dans d'autres régions du Canada, on a associé au réchauffement récent des changements dans les débits fluviaux, les populations de poisson, la distribution des arbres, les feux de forêt, les sécheresses et les infestations de ravageurs agricoles et forestiers (*voir* les chapitres intitulés « Les ressources en eau », « Les pêches », « L'agriculture » et « La foresterie »).

La poursuite du changement climatique, prévue par les modèles climatiques, devrait avoir des impacts dans toutes les régions du pays et dans presque tous les secteurs de l'économie canadienne. Même si une augmentation graduelle de la température pourrait comporter certains avantages pour le Canada (p. ex., de plus longues saisons de croissance et une réduction

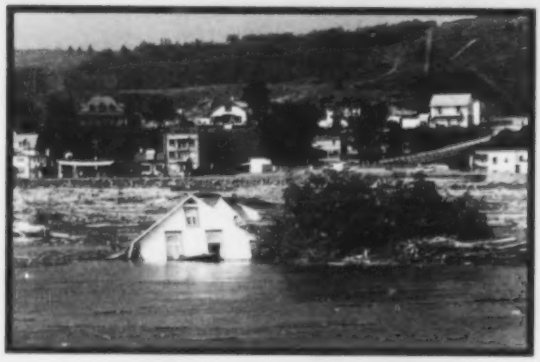
ENCADRÉ 1 : Deux désastres vers la fin des années 1990 (tiré de la référence 10)

Tempête de verglas de 1998

Cause : de 50 à plus de 100 mm de verglas en cinq jours.
Lieu : Corridor de Kingston (Ontario) au Nouveau-Brunswick, en passant par les régions de l'Outaouais, de Montréal et de la Montérégie
Nombre de morts : 28
Nombre de blessés : 945
Nombre de personnes évacuées : 600 000
Autres impacts : Pannes d'électricité massives
Coûts estimés : 5,4 milliards de dollars

Inondations du Saguenay de 1996

Cause : 290 mm de pluie en moins de 36 heures
Lieu : Vallée de la rivière Saguenay (Québec)
Nombre de morts : 10
Nombre de blessés : 0
Nombre de personnes évacuées : 15 825
Autres impacts : Chute de lignes de transport d'énergie, dommages à des ponts principaux, fermetures d'industries
Coûts estimés : 1,6 milliard de dollars



des décès provoqués par les froids extrêmes), elle devrait également nous causer bien des soucis. Par exemple, des températures plus élevées pourraient augmenter les dommages provoqués par des perturbations comme les feux de forêt et les ravageurs (*voir* la figure 7), ainsi qu'une augmentation de la morbidité et de la mortalité attribuables aux épisodes de forte chaleur. Une augmentation de la fréquence ou de l'intensité des phénomènes climatiques extrêmes aurait de très graves incidences négatives. L'expérience nous enseigne que l'ampleur de désastres naturels comme les sécheresses, les inondations et les grandes tempêtes dépasse souvent notre capacité d'intervention, ce qui se traduit par des impacts socio-économiques significatifs.

FIGURE 7 : Selon les prévisions des modèles climatiques, une augmentation des températures et de la sécheresse dans les Prairies pourrait favoriser des infestations plus intenses et plus répandues de sauterelles au cours des prochaines années

Image : Gracieuseté de D. Johnson.

ENCADRÉ 1 : Deux désastres vers la fin des années 1990 (tiré de la référence 10)

Tempête de verglas de 1998

Cause : de 50 à plus de 100 mm de verglas en cinq jours.
Lieu : Corridor de Kingston (Ontario) au Nouveau-Brunswick, en passant par les régions de l'Outaouais, de Montréal et de la Montérégie
Nombre de morts : 28
Nombre de blessés : 945
Nombre de personnes évacuées : 600 000
Autres impacts : Pannes d'électricité massives
Coûts estimés : 5,4 milliards de dollars

Inondations du Saguenay de 1996

Cause : 290 mm de pluie en moins de 36 heures
Lieu : Vallée de la rivière Saguenay (Québec)
Nombre de morts : 10
Nombre de blessés : 0
Nombre de personnes évacuées : 15 825
Autres impacts : Chute de lignes de transport d'énergie, dommages à des ponts principaux, fermetures d'industries
Coûts estimés : 1,6 milliard de dollars

des décès provoqués par les froids extrêmes), elle devrait également nous causer bien des soucis. Par exemple, des températures plus élevées pourraient augmenter les dommages provoqués par des perturbations comme les feux de forêt et les ravageurs (*voir* la figure 7), ainsi qu'une augmentation de la morbidité et de la mortalité attribuables aux épisodes de forte chaleur. Une augmentation de la fréquence ou de l'intensité des phénomènes climatiques extrêmes aurait de très graves incidences négatives. L'expérience nous enseigne que l'ampleur de désastres naturels comme les sécheresses, les inondations et les grandes tempêtes dépasse souvent notre capacité d'intervention, ce qui se traduit par des impacts socio-économiques significatifs.

FIGURE 7 : Selon les prévisions des modèles climatiques, une augmentation des températures et de la sécheresse dans les Prairies pourrait favoriser des infestations plus intenses et plus répandues de sauterelles au cours des prochaines années

Image : Gracieuseté de D. Johnson

Adaptation au changement climatique

Les interventions en réponse au changement climatique nécessitent une approche à deux volets qui vise la réduction des émissions de gaz à effet de serre (mesures d'atténuation du changement climatique) ainsi que des activités et des pratiques adaptatives visant à réduire notre vulnérabilité aux impacts possibles (mesures d'adaptation). Des mesures d'atténuation sont nécessaires pour réduire le rythme et l'ampleur du changement climatique à l'échelle planétaire. Toutefois, en elles-mêmes, ces mesures ne préviennent pas le changement climatique. Vu la nature des systèmes climatiques de la Terre, la température devrait continuer à augmenter, même après la stabilisation des concentrations de dioxyde de carbone et des autres gaz à effet de serre (*voir* la figure 8). Des mesures d'adaptation seront donc nécessaires pour compléter les stratégies d'atténuation. La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et le Protocole de Kyoto exigent que les parties tiennent également compte de l'adaptation aux changements climatiques. Le Protocole de Kyoto, par exemple, stipule que les parties doivent « faciliter une adaptation appropriée à ces changements » (*voir* la référence 13, article 10b).

Les mesures d'adaptation sont les activités qui réduisent au minimum les impacts négatifs du changement climatique ou qui nous permettent de tirer profit de nouvelles occasions. L'adaptation n'est pas une nouveauté : les humains se sont toujours adaptés au changement, et ils continueront de le faire dans l'avenir. Les Canadiens, par exemple, ont élaboré toute une gamme de techniques et de stratégies pour faire face aux effets de notre climat extrêmement variable, comme nos maisons et bureaux climatisés, nos systèmes d'alerte contre les orages et les tornades, ainsi que nos vêtements saisonniers si variés.

L'examen de notre capacité d'adaptation au changement climatique soulève deux préoccupations principales : d'abord, le taux de changement prévu par les modèles climatiques est sans précédent dans

FIGURE 8 : Les concentrations de dioxyde de carbone, les températures et le niveau de la mer devraient continuer à augmenter bien après une réduction effective des émissions (*tiré de* la référence 8).

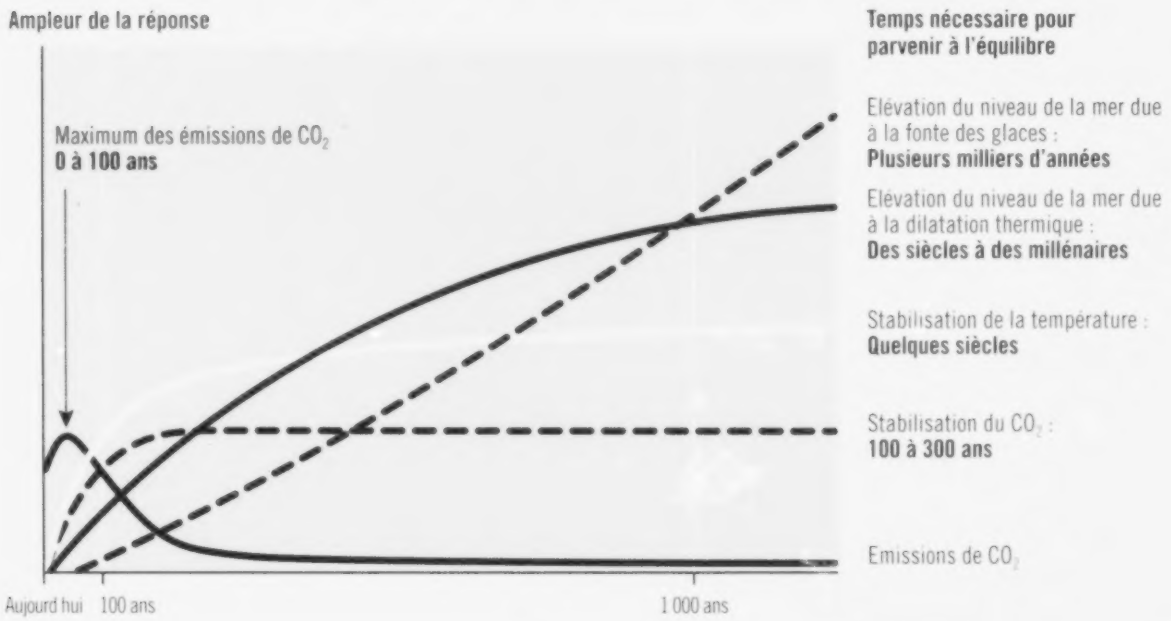


TABLEAU 1 : Stratégies d'adaptation.

Catégorie	Explication	Exemple
Prise en charge des coûts	Ne rien faire pour réduire la vulnérabilité et absorber les pertes.	Laisser se flétrir les pelouses et les plantes des jardins domestiques.
Réduction au minimum des pertes	Adopter des mesures visant à réduire la vulnérabilité.	Protéger les collectivités côtières avec des ouvrages longitudinaux ou des épis.
Étalement ou partage des pertes	Partager les pertes entre divers systèmes ou populations.	Assurance-récolte
Changement d'activités	Éliminer les activités qui ne sont pas durables dans les nouvelles conditions climatiques, et les remplacer par d'autres activités.	Faire d'un centre de ski un centre quatre-saisons pour attirer les touristes pendant toute l'année.
Changement de lieu	Déplacer les activités ou systèmes.	Déplacer vers le nord les activités de pêche sur glace.
Amélioration de la capacité d'adaptation	Améliorer la robustesse du système afin d'accroître sa capacité d'adaptation aux divers stress.	Réduire les stress non climatiques comme la pollution.

toute l'histoire de l'humanité. Compte tenu de l'accélération actuelle du rythme du changement, l'efficacité de notre capacité d'adaptation diminue. Ensuite, comme on l'a déjà indiqué, la fréquence et l'intensité des phénomènes climatiques extrêmes devraient augmenter. Au cours de la dernière décennie, les pertes provoquées par la tempête de verglas de 1998, les inondations au Manitoba et au Québec, la sécheresse et les feux de forêt dans l'Ouest du Canada, les violentes tempêtes du Canada atlantique et de nombreux autres cas difficiles montrent clairement notre vulnérabilité aux phénomènes extrêmes du climat.

On a relevé un certain nombre de types différents de stratégies d'adaptation destinées à réduire la vulnérabilité au changement climatique (*voir* le tableau 1). Ces stratégies sont notamment des mesures prises avant l'observation d'impacts (mesures préventives), ainsi que d'autres après leur apparition (mesures correctives). De plus, les mesures d'adaptation peuvent être le fruit de décisions politiques (mesures planifiées), ou elles peuvent être spontanées (mesures indépendantes). L'adaptation dans les systèmes naturels non gérés s'effectue par des mesures correctives et indépendantes, alors que les systèmes gérés peuvent tirer parti de mesures préventives et de stratégies d'adaptation planifiées. Beaucoup de groupes différents, notamment des particuliers, des organisations et des industries, ainsi que tous les paliers de gouvernement, peuvent appliquer diverses mesures d'adaptation. Les mesures d'intervention adaptative les plus efficaces et les plus économiques sont habituellement des mesures préventives qui nécessitent la collaboration d'un grand nombre de groupes différents.

Dans la plupart des cas, le but des mesures d'adaptation est d'améliorer la capacité d'adaptation (*voir* le chapitre intitulé « Orientations »). On définit celle-ci comme « la capacité d'ajustement d'un système face aux changements climatiques (y compris à la variabilité climatique et aux extrêmes climatiques) afin d'atténuer les effets potentiels, d'exploiter les opportunités, ou de faire face aux conséquences. »[14] Normalement, un secteur ou une région à forte capacité d'adaptation devrait pouvoir s'adapter aux changements du climat, voire en tirer parti, alors que d'autres à plus faible capacité d'adaptation en souffriront probablement. En plus de réduire notre vulnérabilité au changement climatique futur, l'amélioration de notre capacité d'adaptation devrait favoriser l'ajustement à la variabilité climatique actuelle.

Portée et but du présent rapport

En 1998, on a publié la première évaluation à l'échelle nationale des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation. Cette évaluation – l'« Étude pancanadienne » – effectuée par des experts du gouvernement, de l'industrie, des universités et d'organisations non gouvernementales, a examiné la documentation scientifique et technique sur les impacts du changement climatique et sur l'adaptation à celui-ci. Ce rapport en plusieurs volumes est aussi une étude des impacts du changement climatique dans les diverses régions et secteurs économiques du Canada, qui examine la possibilité de mettre en œuvre des mesures d'intervention adaptées. L'une des nombreuses conclusions de l'Étude pancanadienne était que le changement climatique pouvait avoir des impacts sur les industries qui exploitent nos ressources naturelles ainsi que sur tous les autres secteurs socio-économiques, et donc « sur la prospérité du Canada et sur le bien-être des gens ».[15]

Le présent rapport, intitulé *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, est une mise à jour de l'Étude pancanadienne ciblée sur les recherches effectuées de 1997 à 2002. Pendant cette période, on a réalisé une quantité considérable d'études sur les impacts du changement climatique et sur l'adaptation à celui-ci, en partie parce que l'Étude pancanadienne avait mis ces problèmes en évidence, grâce à des programmes orientés de financement de la recherche et à des initiatives internationales – par exemple, les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le présent rapport n'est pas une évaluation exhaustive de la documentation, mais plutôt un sommaire des études récentes; son but est de sensibiliser le public à la diversité et à l'importance des problèmes dus aux impacts du changement climatique, ainsi que de l'adaptation à ces impacts. On y utilise le terme « changement climatique » pour désigner tout changement du climat en fonction du temps, qu'il soit attribuable à la variabilité naturelle, à l'activité humaine ou aux deux. Il s'agit de la même notion que celle adoptée par le GIEC, mais elle diffère toutefois de celle de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, qui restreint le sens de ce terme aux changements climatiques qu'on peut relier directement ou indirectement à des activités anthropiques.

Bien que cet examen soit avant tout un compte rendu des recherches canadiennes sur les impacts du changement climatique et sur l'adaptation à ceux-ci, on y a inclus des références supplémentaires afin de présenter le contexte nord-américain et mondial dans lequel s'insèrent les travaux canadiens. De plus, le rapport souligne les résultats des recherches financées par le Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada. Bien que la plus grande partie de ces travaux n'aient pas encore fait l'objet d'un examen complet par des pairs, ils présentent des exemples d'études nouvelles et souvent novatrices dans le domaine des impacts du changement climatique et de l'adaptation à celui-ci.

Le premier chapitre du rapport présente des concepts clés pour les recherches sur les impacts et sur l'adaptation, et traite des orientations actuelles destinées à expliquer la vulnérabilité, les divers scénarios et l'évaluation des coûts. Il est suivi de sept chapitres dont chacun porte sur un secteur d'importance clé au Canada, soit les ressources en eau, l'agriculture, la foresterie, les zones côtières, les pêches, les transports, et la santé et le bien-être humains.

La vulnérabilité est un thème clé qui revient dans chaque chapitre du rapport et qui reflète la nouvelle orientation, depuis quelques années, des recherches sur les impacts et l'adaptation. En effet, celles-ci sont passées de la projection des impacts possibles à l'explication des risques du changement climatique pour l'environnement, l'économie et la société (*voir* le chapitre intitulé « Orientations »). La vulnérabilité, définie comme le « degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes (…) »,[14] est un concept de base pour la gestion des risques du changement climatique, malgré les nombreuses incertitudes associées aux projections des climats futurs. Ainsi, le présent rapport sert aussi d'introduction pour la prochaine évaluation à l'échelle nationale des impacts du changement climatique et de l'adaptation à celui- ci, qui doit mettre l'accent sur la compréhension de la vulnérabilité du Canada au changement climatique.

Références

(1) Ressources naturelles Canada. « Comprendre l'enjeu », dans *Changement climatique*, 2002. Disponible en ligne à http://climatechange.nrcan.gc.ca/francais/view.asp?x=6 (accès en octobre 2003).

(2) Gouvernement du Canada. *Plan du Canada sur les changements climatiques*, 2002. Disponible en ligne à http://www.climatechange.gc.ca/plan_du_canada/index.html (accès en octobre 2003).

(3) Albritton, D.L. et L. G.M. Filho. « Technical summary », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 21-84. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en octobre 2003).

(4) Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 1-20. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en octobre 2003).

(5) Folland, C.K., T.R. Karl, R. Christy, R.A. Clarke, G.V. Gruza, J. Jouzel, M.E. Mann, J. Oerlemans, M.J. Salinger et S.W. Wang. « Observed climate variability and change », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 99-182. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/048.htm (accès en octobre 2003).

(6) Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo. « Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, nº 3, 2000, pp. 395-429.

(7) Blasing, T.J. et S. Jones. *Current greenhouse gas concentrations*. Disponible en ligne à http://cdiac.esd.ornl.gov/pns/current_ghg.html (accès en octobre 2003).

(8) Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Contribution des groupes de travail I, II et III au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, R.T. Watson et Core Writing Team (éd.), Cambridge University Press, 2001, 398 p. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en octobre 2003).

(9) Smit, B. et O. Pilifosova. « From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction », dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, J.B. Smith, R.J.T. Klein et S. Huq (éd.), Londres, Angleterre, Imperial College Press, 2003, pp. 9-28.

(10) Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile. *Disaster database*. Disponible en ligne à http://www.ocipep.gc.ca/disaster/search.asp?lang=eng (accès en octobre 2003).

(11) Berkes, F. et D. Jolly. « Adapting to climate change: social-ecological resilience in a Canadian western Arctic community », *Conservation Ecology*, vol. 5, nº 2, 2002, pp. 514-532.

(12) Fox, S. « These are things that are really happening », dans *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Arctic Environmental Change*, I. Krupnik et D. Jolly (éd.), Fairbanks, Alaska, Arctic Research Consortium of the United States, 2002, pp. 13-53.

(13) Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*, 1997. Disponible en ligne à http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf (accès en octobre 2003).

(14) Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Annexe B. Glossaire*, 2001. Disponible en ligne à Web http://www.ipcc.ch/pub/syrglossfrench.pdf (accès en octobre 2003).

(15) Maxwell, B., N. Mayer et R. Street. « National summary for policy makers », dans *The Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, Environnement Canada, 1997, 24 p.

Orientations de la recherche

« Le rôle de l'adaptation au changement climatique et à la variabilité climatique est de plus en plus étudié dans le cadre de la recherche universitaire, et son importance est reconnue dans les discussions nationales et internationales sur le changement climatique. »[1]

La recherche sur les impacts du changement climatique et l'adaptation exige une approche multidisciplinaire et une démarche par intégration. En plus de tenir compte d'un large éventail d'information provenant des sciences naturelles, les études sur le changement climatique doivent tenir compte des recherches en matière sociale, économique et politique. Ce domaine de la recherche continue de s'élargir et fait intervenir un nombre croissant de chercheurs de diverses disciplines.

Le premier rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), publié en 1990, a eu une grande influence sur l'élaboration de la *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* (CCNUCC) en 1992. À ce moment-là, la recherche sur les impacts du changement climatique se concentrait principalement sur les conséquences possibles de différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et de différentes mesures d'atténuation. La nécessité de s'adapter au changement climatique pour en modifier les impacts, bien que reconnue à l'article 4 de la CCNUCC, n'a généralement reçu que peu d'attention dans ces premières études.[2]

Au cours des dix années qui ont suivi la publication du premier rapport d'évaluation du GIEC, la recherche sur les impacts du changement climatique et l'adaptation a connu une évolution considérable, en raison d'un certain nombre de facteurs. Premièrement, les données accumulées indiquaient que le changement climatique était déjà en train de se produire[3] et qu'il avait même des conséquences importantes dans certaines régions.[4, 5, 6] Ces impacts ne pouvaient donc plus être considérés comme de simples résultats hypothétiques de différents scénarios d'émissions; ils posaient des problèmes réels auxquels il fallait s'attaquer d'urgence. Deuxièmement, les résultats de la recherche annonçaient une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes, lesquels allaient probablement être beaucoup plus difficiles à gérer pour les systèmes humains et naturels que les variations progressives des conditions moyennes.[7] Troisièmement, les chercheurs ont réalisé que des mesures d'atténuation ne pourraient empêcher le changement climatique de se produire; les températures continueraient de grimper même si on parvenait à stabiliser les concentrations de dioxyde de carbone (CO_2).[8] Tous ces facteurs ont amené la collectivité internationale de la recherche sur le changement climatique à reconnaître que l'adaptation était un complément nécessaire à l'atténuation pour réduire la vulnérabilité au changement climatique.

Ce changement d'attitude se reflète dans les modifications apportées aux titres des trois rapports d'évaluation du Groupe de travail II du GIEC qui ont été produits entre 1990 et 2001 (*voir* le tableau 1), ainsi que dans le nombre de rapports récents publiés au sujet des approches de la recherche sur les impacts et l'adaptation (p. ex., références 8, 9, 10, 11, 12).

TABLEAU 1 : Titres des premier, deuxième et troisième rapports d'évaluation du Groupe de travail II du GIEC

Année	Titre
1990	*Évaluation des impacts du changement climatique*
1995	***Changement climatique 1995 : Impacts, adaptation et atténuation du changement climatique***
2001	*Bilan 2001 des changements climatiques : Impacts, adaptation et vulnérabilité*

« Le rôle de l'adaptation au changement climatique et à la variabilité climatique est de plus en plus étudié dans le cadre de la recherche universitaire, et son importance est reconnue dans les discussions nationales et internationales sur le changement climatique. »[1]

La recherche sur les impacts du changement climatique et l'adaptation exige une approche multidisciplinaire et une démarche par intégration. En plus de tenir compte d'un large éventail d'information provenant des sciences naturelles, les études sur le changement climatique doivent tenir compte des recherches en matière sociale, économique et politique. Ce domaine de la recherche continue de s'élargir et fait intervenir un nombre croissant de chercheurs de diverses disciplines.

Le premier rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) publié en 1990, a eu une grande influence sur l'élaboration de la *Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* (CCNUCC) en 1992. À ce moment-là, la recherche sur les impacts du changement climatique se concentrait principalement sur les conséquences possibles de différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et de différentes mesures d'atténuation. La nécessité de s'adapter au changement climatique pour en modifier les impacts, bien que reconnue à l'article 4 de la CCNUCC, n'a généralement reçu que peu d'attention dans ces premières études.

Au cours des dix années qui ont suivi la publication du premier rapport d'évaluation du GIEC, la recherche sur les impacts du changement climatique et l'adaptation a connu une évolution considérable, en raison d'un certain nombre de facteurs. Premièrement, les données accumulées indiquaient que le changement climatique était déjà en train de se produire – et qu'il avait même des conséquences importantes dans certaines régions. Ces impacts ne pouvaient donc plus être considérés comme de simples résultats hypothétiques de différents scénarios d'émissions; ils posaient des problèmes réels auxquels il fallait s'attaquer d'urgence. Deuxièmement, les résultats de la recherche annonçaient une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes, lesquels allaient probablement être beaucoup plus difficiles à gérer pour les systèmes humains et naturels que les variations progressives des conditions moyennes. Finalement, les chercheurs ont réalisé que des mesures d'atténuation ne pourraient empêcher le changement climatique de se produire; les températures continueraient de grimper même si on parvenait à stabiliser les concentrations de dioxyde de carbone (CO_2). Tous ces facteurs ont amené la collectivité internationale de la recherche sur le changement climatique à reconnaître que l'adaptation était un complément nécessaire à l'atténuation pour réduire la vulnérabilité au changement climatique.

Ce changement d'attitude se reflète dans les modifications apportées aux titres des trois rapports d'évaluation du Groupe de travail II du GIEC qui ont été produits entre 1990 et 2001 (*voir* le tableau 1), ainsi que dans le nombre de rapports récents publiés au sujet des approches de la recherche sur les impacts et l'adaptation (p. ex., références 8, 9, 10, 11, 12).

TABLEAU 1 : Titres des premier, deuxième et troisième rapports d'évaluation du Groupe de travail II du GIEC

Année	Titre
1990	*Évaluation des impacts du changement climatique*
1995	*Changement climatique 1995 : Impacts, adaptation et atténuation du changement climatique*
2001	*Bilan 2001 des changements climatiques : Impacts, adaptation et vulnérabilité*

Au Canada, la première évaluation nationale des impacts du changement climatique et de l'adaptation, l'Étude pancanadienne, a été publiée en 1998. Les auteurs de ce rapport en plusieurs volumes ont examiné les impacts du changement climatique dans toutes les régions et tous les secteurs économiques du Canada, ainsi que les mesures d'adaptation possibles. Un fait en est ressorti : les études traditionnelles sur les impacts du changement climatique (p. ex., analyses de sensibilité, collecte de données de référence et amélioration des modèles) avaient encore leur raison d'être, mais il nous fallait aussi entreprendre un travail plus intégré auquel toutes les parties intéressées allaient contribuer, qui étudierait la question des coûts et qui appliquerait une approche davantage multidisciplinaire. L'Étude pancanadienne a également conclu que les lacunes de nos connaissances scientifiques sur le changement climatique ne devraient pas nous empêcher de mettre en œuvre dès maintenant des mesures d'adaptation susceptibles de réduire la vulnérabilité au changement climatique.

Dans le présent chapitre, nous rendons compte des tendances de la recherche à l'échelle nationale et internationale. Dans la première partie, nous nous intéressons aux concepts, à la raison d'être et aux objectifs de l'étude de la vulnérabilité au changement climatique. Les données sur la vulnérabilité servent à établir les priorités et profitent directement à la recherche, dans la mesure où elles lui permettent d'apporter une meilleure contribution aux décisions en matière d'adaptation. Dans la deuxième partie, nous décrivons globalement le rôle des scénarios dans la recherche sur les impacts et l'adaptation. Les scénarios climatiques posent certaines hypothèses concernant la nature et le rythme des futurs changements climatiques, deux facteurs qui auront une incidence déterminante sur la vulnérabilité. Dans la dernière partie, nous nous intéressons au coût des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation. La recherche sur les coûts, dans laquelle on considère à la fois les biens et services marchands et non marchands, est considérée comme une approche importante des estimations quantitatives de la vulnérabilité, et c'est pourquoi elle aura une influence sur les décisions en matière d'adaptation et d'atténuation.

Étude de la vulnérabilité

« L'analyse de la vulnérabilité sert de point de départ pour trouver des moyens efficaces de promouvoir des mesures correctives susceptibles de limiter les impacts, en appuyant des stratégies d'atténuation et en facilitant l'adaptation. »[13]

La plupart des études réalisées à ce jour au sujet des impacts du changement climatique et de l'adaptation partent de scénarios de changement climatique pour déterminer les impacts possibles sur les écosystèmes et les activités humaines et évaluer les mesures d'adaptation. Par exemple, plusieurs des études citées dans le présent rapport emploient un scénario de doublement des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère pour évaluer les impacts potentiels du changement climatique. S'il est vrai que ces travaux ont jeté un éclairage utile et nous ont permis d'améliorer nos connaissances sur les interactions du changement climatique, des écosystèmes et des systèmes humains, il n'en demeure pas moins qu'ils comportent plusieurs lacunes, à plus forte raison s'ils ont pour but de faciliter la prise de décisions en matière d'adaptation.

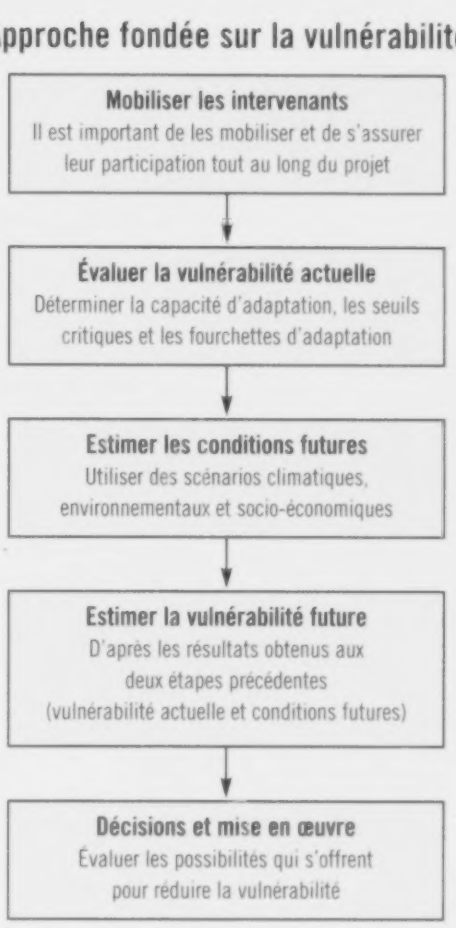
Par exemple, les résultats des études basées principalement sur les extrants des modèles climatiques sont généralement entachés d'une grande incertitude et tombent dans une grande fourchette, ce qui rend difficile l'estimation du risque.[15] En outre, comme les systèmes climatiques, écologiques et socio-économiques que les chercheurs s'emploient à modéliser sont complexes, la validité des résultats des scénarios est inévitablement l'objet de critiques constantes. Par exemple, des rapports récents indiquent que le fait de ne pas prendre en compte les changements d'affectation des terres et les effets biologiques de l'augmentation des concentrations de CO_2,[16] ainsi que la piètre représentation des événements extrêmes[17] limitent l'utilité de plusieurs scénarios d'emploi courant. Ce n'est pas la valeur des scénarios que l'on conteste – en fait, il n'existe aucun autre outil pour modéliser des

conditions à venir. Ces critiques, toutefois, mettent en évidence la nécessité de fonder les scénarios sur des bases suffisamment solides pour permettre de gérer les risques en dépit des incertitudes associées au changement climatique.

Ces bases nous sont fournies par le concept de vulnérabilité. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat définit la vulnérabilité comme le « degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes ».[14] La vulnérabilité est fonction de l'exposition du système aux impacts du climat, de sa sensibilité à ces impacts et de sa capacité de s'adapter.[15] Il est important de distinguer la vulnérabilité de la sensibilité, qui se définit comme le « degré d'affectation positive ou négative d'un système par des stimuli liés au climat ».[14] La sensibilité fait abstraction de l'effet modérateur des stratégies d'adaptation, tandis que la vulnérabilité renvoie aux impacts qui restent après que les mesures d'adaptation ont été prises en compte.[13] En conséquence, un système considéré comme très sensible au changement climatique ne sera pas nécessairement vulnérable. Des facteurs économiques et sociaux jouent un rôle important dans la vulnérabilité d'un système ou d'une région.

La méthode fondée sur la vulnérabilité, que l'on utilise dans la recherche sur les impacts du changement climatique et l'adaptation, comporte cinq grandes étapes (*voir* la figure 1). Une étude de l'état actuel du système permet aux chercheurs d'effectuer une première évaluation de la vulnérabilité indépendamment des changements climatiques futurs. Les chercheurs peuvent ainsi améliorer leurs connaissances sur le système dans son ensemble et estimer de façon plus réaliste la faisabilité de chaque mesure d'adaptation. En outre, l'examen des conditions actuelles favorise la participation des intervenants (*voir* l'encadré 2) et facilite la mise en œuvre de stratégies d'adaptation « sans regret ». Les chercheurs évaluent les vulnérabilités futures à partir des connaissances acquises au sujet des vulnérabilités actuelles, auxquelles ils appliquent des projections socio-économiques.

FIGURE 1 : Étapes de l'approche fondée sur la vulnérabilité. À noter que la recherche ne suit pas nécessairement une courbe de progression linéaire. Le processus devrait être itératif et certaines étapes devraient être réalisées simultanément.



La méthode fondée sur la vulnérabilité a pour objectif général de faire en sorte que la recherche contribue à la prise des décisions en matière d'adaptation, en posant les balises nécessaires pour que l'on puisse établir des priorités malgré les incertitudes qui subsistent au sujet du changement climatique.

ENCADRÉ 1 : Définitions des principaux termes (d'après la référence 14)

Vulnérabilité : « Degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation. »

Sensibilité : « Degré d'affectation positive ou négative d'un système par des stimuli liés au climat. L'effet peut être direct (modification d'un rendement agricole en réponse à une variation de la moyenne, de la fourchette ou de la variabilité de température, par exemple) ou indirect (dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations côtières en raison de l'élévation du niveau de la mer, par exemple). »

Capacité d'adaptation : Capacité d'ajustement d'un système face aux changements climatiques (y compris à la variabilité climatique et aux extrêmes climatiques) afin d'atténuer les effets potentiels, d'exploiter les opportunités ou de faire face aux conséquences. »

Facteurs influant sur la vulnérabilité actuelle

La vulnérabilité actuelle d'un système est déterminée par plusieurs facteurs interreliés, soit la capacité d'adaptation, la fourchette d'adaptation et les seuils critiques.

Le GIEC définit la capacité d'adaptation comme « la capacité d'ajustement d'un système face aux changements climatiques (y compris à la variabilité climatique et aux extrêmes climatiques) afin d'atténuer les effets potentiels, d'exploiter les opportunités, ou de faire face aux conséquences. »[14] Plus simplement, la capacité d'adaptation mesure la capacité d'un système à

ENCADRÉ 2 : Participation des intervenants

Qui?

Les intervenants :

- représentants de l'industrie, organismes de planification publique, propriétaires fonciers, décideurs et autres parties intéressées qui pourraient devoir composer avec le changement climatique.

Pourquoi?

Les intervenants :

- font bénéficier les autres de leur connaissance profonde du système ou de la région à l'étude;
- jettent un éclairage particulier sur les principales questions à résoudre et les besoins en recherche;
- aident à mettre en place des mécanismes permettant d'appliquer les résultats de la recherche à la prise des décisions et à la mise en œuvre des mesures d'adaptation.

Ce qu'ils y gagnent :

- ils ont plus de chances de voir leurs priorités prises en compte;
- ils comprennent mieux les possibilités et les limites des résultats des études.[19]

Comment?

La participation des intervenants peut consister à :

- siéger à des comités consultatifs;
- formuler des commentaires sur les plans de travail, les rapports à l'état d'ébauche et le choix des scénarios;
- fournir des idées et de l'information.[20]

Établir un dialogue entre les intervenants et les chercheurs pour que l'échange d'information se fasse dans les deux sens.[19]

Quand?

- Faire participer les intervenants dès le début du projet.
- Maintenir la participation des intervenants tout au long du projet.

TABLEAU 2 : Principaux déterminants de la capacité d'adaptation (d'après la référence 8)

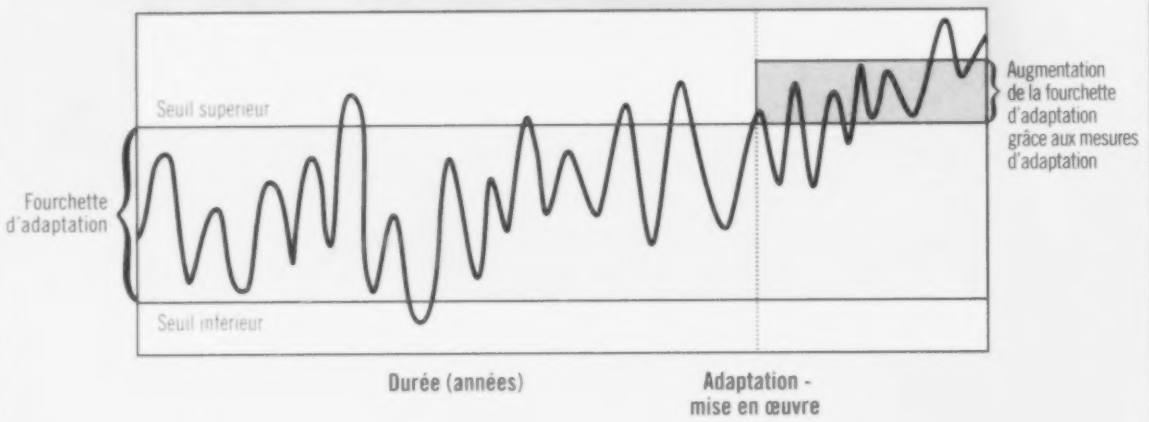
Facteur déterminant	Explication
Ressources économiques	• Plus les ressources économiques sont riches, plus grande est la capacité d'adaptation. • Un manque de ressources financières limite les mesures d'adaptation.
Technologies	• Le manque de technologies limite le choix des mesures d'adaptation. • Les régions les moins avancées sur le plan technologique ont moins de chances d'établir et de mettre en œuvre des adaptations technologiques.
Information et compétences	• Un manque de personnel informé, qualifié et bien formé réduit la capacité d'adaptation. • Meilleur est l'accès à l'information, plus grandes sont les chances de mettre en place des mesures d'adaptation appropriées en temps opportun.
Infrastructures	• Une infrastructure diversifiée peut accroître la capacité d'adaptation, car elle offre davantage de possibilités. • Les caractéristiques et le lieu des infrastructures influent également sur la capacité d'adaptation.
Institutions	• Des institutions sociales bien développées aident à réduire les impacts du changement climatique, d'où une meilleure capacité d'adaptation.
Équité	• Une distribution équitable des ressources accroît la capacité d'adaptation. • La disponibilité et l'accessibilité des ressources sont deux facteurs importants.

s'adapter au changement. Un système doté d'une forte capacité d'adaptation peut composer avec le changement climatique et peut-être même le faire tourner à son avantage, alors qu'un autre doté d'une faible capacité d'adaptation sera plus susceptible d'en souffrir. L'amélioration de la capacité d'adaptation est une stratégie sans regret qui est souvent recommandée, car elle apporte à la fois des avantages immédiats et des avantages à long terme. Beaucoup de recherches ont été faites pour déterminer les facteurs qui influent sur la capacité d'adaptation (*voir* le tableau 2). Elles ont fourni des indicateurs utiles, mais l'évaluation quantitative de la capacité d'adaptation demeure problématique. En fait, les chercheurs ne s'entendent pas sur les critères à utiliser pour évaluer les déterminants ni sur les variables à employer.[8] Certaines caractéristiques, comme le revenu par habitant, le niveau d'instruction et la densité de la population, ont été utilisées en lieu et place de quelques-uns de ces facteurs.[21]

Souvent, on évalue la vulnérabilité actuelle d'un système d'après la façon dont il a réagi à la variabilité climatique par le passé. Un système ayant une capacité avérée à s'adapter à des fluctuations et sollicitations climatiques est généralement considéré comme moins vulnérable. Aussi les chercheurs sont-ils d'avis que la littérature sur les risques naturels peut être riche d'enseignements.[22] Si nous savons comment les collectivités ont, par le passé, réagi socialement, économiquement et politiquement aux désastres naturels, nous aurons une meilleure idée des solutions pouvant être adoptées pour faire face à d'éventuels événements catastrophiques. D'autres chercheurs, cependant, nous mettent en garde contre l'observation des réactions aux événements du passé, qui peuvent, à leur avis, nous induire en erreur et nous entraîner sur une fausse piste.[23] Il est important de tenir compte de la capacité d'une région ou d'une collectivité à tirer des leçons de l'expérience et à appliquer des stratégies permettant d'atténuer les conséquences d'événements semblables à ceux qui se sont produits par le passé. Par exemple, depuis la tempête de verglas de 1998, le Québec a pris des mesures importantes pour renforcer sa préparation et son dispositif d'intervention en cas d'urgence, de sorte qu'il est aujourd'hui beaucoup mieux armé pour faire face à des événements extrêmes.[24]

En examinant la réponse des systèmes à la variabilité climatique, il est possible de délimiter la fourchette d'adaptation d'un système donné (*voir* l'encadré 3). La fourchette d'adaptation se définit comme la « fourchette des conditions dans laquelle aucune conséquence

ENCADRÉ 3 : Fourchette d'adaptation et seuils critiques



Fourchette d'adaptation : « Variation des stimuli climatiques qu'un système peut absorber sans produire d'effets significatifs. »[14]

Seuils critiques : Limites de la fourchette d'adaptation; tout dépassement des seuils critiques a des impacts importants.[21]

importante n'est observée en raison de la résilience du système ».[21] Les seuils critiques correspondent aux limites supérieure et inférieure de la fourchette d'adaptation[21] et varient habituellement selon le lieu considéré.[25] Des impacts importants se produiront vraisemblablement lorsque les changements dépasseront les seuils critiques. Voici des exemples de seuils critiques : la température atmosphérique maximale à laquelle une culture donnée peut se développer, le niveau minimal qu'un cours d'eau doit avoir pour que les poissons puissent survivre et l'intensité maximale des précipitations qu'un réseau d'égout pluvial peut absorber. Les seuils critiques ne sont pas toujours des valeurs absolues; il peut parfois s'agir du rythme d'un changement.[25] Certains systèmes réagiront bien à des changements qui s'opèrent lentement sur de longues périodes, mais seront incapables de s'ajuster à des changements plus rapides, qui auraient donc des impacts importants.

Il est important de connaître dès le départ la fourchette d'adaptation et les seuils critiques d'un système pour être en mesure d'évaluer les impacts probables du changement climatique et d'estimer le rôle que peuvent jouer les mesures d'adaptation. La fourchette d'adaptation, cependant, peut dépendre d'une foule de facteurs physiques, sociaux et politiques, et c'est pourquoi il n'est pas toujours aisé de la définir. Dans certains cas, les connaissances traditionnelles peuvent apporter un complément important à d'autres données pour améliorer la connaissance des fourchettes d'adaptation et de la vulnérabilité générale au changement climatique (*voir*, p. ex., les références 26, 27).

Évaluation de la vulnérabilité future

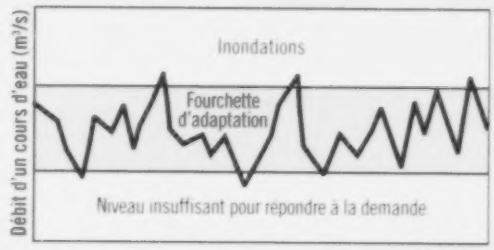
Afin d'évaluer la vulnérabilité future d'un système, les chercheurs appliquent des scénarios (projections des conditions climatiques et socio-économiques) aux connaissances qu'ils ont au sujet de la vulnérabilité actuelle du système. Plusieurs facteurs importants doivent être pris en compte, notamment la nature et le rythme du changement climatique à venir, les variations des conditions climatiques extrêmes et l'influence des changements qui surviennent dans des conditions socio-économiques.

Une fois la fourchette d'adaptation d'un système définie, on peut utiliser des scénarios climatiques comme point de départ pour déterminer la probabilité de dépassement des seuils critiques.[25] Considérons un exemple simplifié du débit d'un cours d'eau, présenté par Yohe et Tol.[21] Il est possible de définir les seuils critiques supérieur et inférieur d'après un examen des données actuelles et historiques concernant la rivière. Par exemple, le seuil supérieur pourrait correspondre au débit de crue avant qu'une inondation sérieuse se produise, tandis que le seuil inférieur pourrait représenter le débit d'étiage nécessaire pour répondre sans interruption à la demande d'eau dans la région (*voir* l'encadré 4, graphique A). On peut déterminer combien de fois ces deux seuils ont été dépassés; aux yeux des gestionnaires de l'eau et des autres intervenants, ce résultat donne la mesure des risques auxquels on s'expose en vivant dans la région. À l'aide des données fournies par les scénarios climatiques, les chercheurs peuvent estimer les variations possibles des débits dans l'avenir et leur effet sur la probabilité de dépassement des seuils critiques (*voir* l'encadré 4, graphique B). Soulignons qu'avec cette approche, il n'est pas nécessaire de dresser des prévisions exactes étant donné que l'on se contente d'estimer des probabilités.[25] En outre, comme cette information s'appuie sur les connaissances que nous avons déjà au sujet du réseau fluvial et qu'elle est présentée dans un langage familier aux gestionnaires des ressources en eau, il est plus facile de l'intégrer dans les cadres de gestion des risques actuellement utilisés.

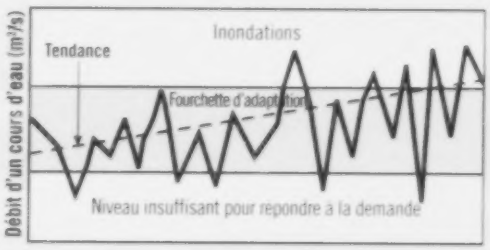
Il est important de reconnaître que les fourchettes d'adaptation peuvent varier avec le temps; les changements peuvent se produire naturellement, ou être apportés délibérément par suite d'une adaptation planifiée. Dans les régions urbaines, par exemple, les collectivités peuvent être en mesure d'atténuer les effets de la chaleur sur la santé et d'augmenter la tolérance aux vagues de chaleur, en prenant des mesures d'adaptation – p. ex., en émettant des alertes de chaleur, en améliorant l'accès aux endroits climatisés et en faisant appel à des « toits frais », qui réduisent l'absorption de la chaleur par les bâtiments (*voir* le chapitre intitulé « Santé et bien-être humains »). Dans l'exemple du débit de cours d'eau, certaines mesures d'adaptation, comme l'ajout d'un barrage, le dragage du cours d'eau ou la construction de digues, peuvent accroître le seuil critique supérieur et permettre ainsi aux collectivités riveraines de tolérer des débits plus élevés (*voir* la référence 21; *voir aussi* l'encadré 3).

ENCADRÉ 4 : Exemple de fourchette d'adaptation : débit d'un cours d'eau (extrait modifié de la référence 21)

Graphique A : Série chronologique historique du débit. À noter qu'au cours de la période étudiée, trois fois le cours d'eau subit un débordement et deux fois le volume d'eau est insuffisant pour répondre à la demande.



Graphique B : Évolution hypothétique du débit sous l'effet d'une augmentation de la variabilité (débits de crue plus élevés, débits d'étiage moins élevés) et tendances de l'augmentation du débit. À noter qu'au cours de la période étudiée, cinq fois le cours d'eau déborde et quatre fois le volume d'eau est insuffisant pour répondre à la demande.



Dans le même ordre d'idées, des mesures de conservation de l'eau, comme l'imposition de restrictions à la consommation d'eau à l'extérieur et l'application de solutions qui améliorent l'efficacité de l'utilisation et du stockage de l'eau, peuvent diminuer la demande de base.[28] L'élargissement des fourchettes d'adaptation constitue un objectif fondamental des programmes d'adaptation.

Rendre compte des mesures d'adaptation

« Il ne sert à rien d'étudier les conséquences du changement climatique si l'on ne tient pas compte du champ d'application des mesures d'adaptation. »[29]

Il est largement reconnu que des mesures d'adaptation judicieuses peuvent réduire la vulnérabilité. Pourtant, ce n'est que tout récemment que la recherche sur l'adaptation a commencé à retenir l'attention.[2] Elle consiste à étudier les processus d'adaptation à la lumière de trois questions importantes :

1) À quoi s'adapte-t-on?

2) Qui ou qu'est-ce qui doit s'adapter? et

3) Comment s'effectuera l'adaptation?[30]

Pour répondre convenablement à ces questions, il faut une collaboration efficace avec les intervenants, une connaissance profonde du système et de la région à l'étude et une connaissance des mesures d'adaptation possibles. Parmi les chercheurs canadiens qui se sont récemment penchés sur la question, citons Löe *et al.*[25], qui ont étudié les critères à utiliser pour déterminer les mesures d'adaptation appropriées, ainsi que Smit et Skinner[31], qui ont proposé une typologie des mesures d'adaptation en agriculture. Dans une autre étude, les chercheurs ont examiné les facteurs qui influent sur les décisions d'adaptation à l'échelle municipale (*voir* l'encadré 5).

La littérature sur l'adaptation reconnaît également les difficultés à rendre compte efficacement des mesures d'adaptation dans les études de vulnérabilité. Plusieurs facteurs interdépendants conditionnent la réaction des êtres humains et des écosystèmes aux stress. L'évaluation de l'adaptation doit s'étendre au-delà de la simple question « l'adaptation est-elle possible? », pour porter également sur la probabilité de l'adaptation. Autrement dit, les gens sont-ils aptes et disposés à s'adapter? Il est recommandé de poursuivre les recherches sur les facteurs qui déterminent la faisabilité, l'efficacité, le coût et l'acceptabilité des mesures d'adaptation.[23]

Scénarios

« Les scénarios comptent parmi les principaux outils dont nous disposons pour évaluer l'évolution de systèmes complexes qui sont, par leur nature même, imprévisibles, que l'on connaît insuffisamment et au sujet desquels subsistent de grandes incertitudes scientifiques. »[17]

Les scénarios jouent un rôle important dans la recherche sur les impacts et l'adaptation. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, ils constituent le seul

ENCADRÉ 5 : Étude des obstacles à l'adaptation à l'échelle municipale[32]

Des chercheurs ont mené des entrevues dans six municipalités choisies à la grandeur du pays afin d'avoir une meilleure idée des obstacles qui s'opposent à l'adaptation au changement climatique dans les municipalités. Ces entrevues ont révélé que plusieurs facteurs influent sur l'importance que l'on attache au changement climatique dans les décisions concernant les infrastructures, notamment les restrictions budgétaires, les attitudes du public et des membres du conseil et la nature de la politique municipale. De façon générale, le manque de sensibilisation à l'importance des impacts du changement climatique a souvent été mentionné comme un des obstacles à l'adaptation.

Pour abattre ces barrières, les chercheurs ont suggéré de communiquer aux municipalités de l'information détaillée concernant les impacts potentiels du changement climatique sur les infrastructures. Ils ont également suggéré d'améliorer les relations et la communication entre les chercheurs et les municipalités, et mis de l'avant plusieurs idées pour régler la question financière.

outil dont nous disposons pour prévoir les conditions futures, dont dépendra la vulnérabilité dans une large mesure. Outre les changements climatiques, l'évolution de la conjoncture sociale, économique et politique aura une influence marquée sur les impacts nets du changement climatique et notre capacité à s'y adapter. Il est important de reconnaître que les scénarios climatiques et socio-économiques sont fortement interreliés, puisque les variations des émissions planétaires de gaz à effet de serre dépendront dans une certaine mesure de l'évolution des conditions économiques et sociales.

Dans la présente section, nous donnons un aperçu des différents types de scénarios dont disposent les chercheurs qui s'intéressent aux impacts et à l'adaptation, nous faisons état des développements récents et nous traçons les orientations futures.

Qu'est-ce qu'un scénario?

Les scénarios servent à prévoir l'évolution possible des conditions dans l'avenir. Il faut entendre par scénario une « description cohérente, structurée et plausible d'un état futur possible du monde ».[33] Il est important de distinguer le scénario d'une prévision, les termes « prévision » et « prédiction » désignant un futur plus probable. Un scénario est une représentation, parmi d'autres, d'un futur possible; on peut s'en servir pour obtenir des données utiles dans les études sur la vulnérabilité, les impacts et l'adaptation; circonscrire l'éventail des futurs plausibles; explorer les ramifications des décisions en matière d'adaptation et d'atténuation; et sensibiliser les gens au problème du changement climatique. En proposant un éventail de futurs possibles, les scénarios nous permettent de tenir compte des incertitudes associées aux différentes voies que peut emprunter le développement social, économique et environnemental.

Le Groupe de travail du GIEC sur les scénarios d'évaluation des répercussions climatiques (GTSERC) est un des principaux artisans des scénarios climatiques. L'information présentée ici se fonde en grande partie sur les lignes directrices générales qu'il a publiées au sujet de l'utilisation des données des scénarios pour l'évaluation des impacts climatiques et de l'adaptation[34] de même que sur le chapitre du troisième rapport d'évaluation du GIEC portant sur la question de l'élaboration des scénarios.[35]

Types de scénarios

Modèles climatiques planétaires

La méthode d'élaboration de scénarios la plus courante et la plus largement reconnue utilise l'information provenant des modèles climatiques planétaires (MCP). Ces modèles, également appelés modèles de circulation générale, sont des représentations mathématiques des processus physiques à grande échelle qui se produisent dans le système Terre-atmosphère-océan, qui nous tracent un portrait complet du changement climatique futur avec une bonne cohérence interne. On peut obtenir de l'information générale au sujet des MCP sur le site Web des Scénarios canadiens de répercussions climatiques (**http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?F_Introduction**).

Les MCP les plus récents contiennent une représentation des variations annuelles de la composition atmosphérique entre 1860 et 1990 environ et sont donc capables de simuler les conditions planétaires moyennes au cours de cette période avec beaucoup plus de fiabilité que les modèles précédents. Ils nous permettent également de modéliser les effets des aérosols sulfatés, qui ont tendance à refroidir le climat, de même que les effets d'une augmentation des concentrations de gaz à effet de serre, qui ont tendance à réchauffer les températures. Dans l'ensemble, ces nouveaux modèles sont généralement plus fiables que leurs prédécesseurs, étant donné qu'ils tiennent compte d'un plus grand nombre de processus et de rétroaction et qu'ils ont habituellement une résolution spatiale supérieure.

Malgré les améliorations apportées à la résolution des MCP et à la représentation de quelques processus climatiques au cours des dernières années, des lacunes subsistent. Par exemple, l'élaboration d'un MCP est un très long processus; l'exécution d'une seule expérience au moyen d'un MCP pour un scénario d'émissions particulier peut prendre entre plusieurs mois et une année complète, selon la résolution et la complexité du modèle. En outre, les données de sortie n'ont pas encore une résolution suffisamment fine pour pouvoir être utilisées directement dans la plupart des recherches sur les impacts. Aussi procède-t-on généralement à une réduction d'échelle, de manière à obtenir des ensembles de données rectangulaires de plus haute résolution spatiale. Or, cette opération de réduction d'échelle

nécessite un temps considérable et peut introduire d'autres erreurs et incertitudes. Cela dit, des travaux sont en cours dans le but d'améliorer la résolution des modèles et de mieux représenter les conditions en surface. Dans un certain nombre d'études récentes et en cours, les chercheurs s'emploient à manipuler les données des scénarios pour construire des ensembles de données établissant des projections pour certaines régions ou certains secteurs au Canada (*voir* le tableau 3). Les résultats de ces études seront utiles en recherche sur les impacts et l'adaptation.

TABLEAU 3 : Exemples de recherches récentes et en cours effectuées au moyen de modèles climatiques planétaires (financées par le Fonds d'action pour le changement climatique, volet Sciences)

Titre du projet	Secteur ou région d'intérêt
Élaboration de scénarios de changement climatique pour le secteur agricole	Agriculture, principales régions agricoles du Canada
Scénarios transitoires de changement climatique pour l'évaluation à haute résolution des impacts sur les écosystèmes forestiers du Canada	Forestrie, forêts de tout le Canada
Scénarios de changement climatique pour l'évaluation des impacts sur les stocks de saumon rouge et de saumon coho	Pêches, fleuve Fraser et Pacifique nord-est

Les chercheurs utilisent des scénarios dérivés de MCP depuis une quinzaine d'années. Dans les premiers projets de recherche sur les impacts et l'adaptation, on appliquait généralement un seul scénario climatique. Or, il est maintenant recommandé d'en utiliser plusieurs afin de mieux représenter l'éventail des climats possibles. Récemment, deux études réalisées au Canada ont fait appel à plusieurs scénarios de changement climatique; la première portait sur la gestion des eaux et le changement climatique dans le bassin de l'Okanagan[36] et la seconde, sur les mesures possibles de conservation et de gestion pour la préservation des milieux forestiers insulaires dans l'écosystème des prairies.[37]

Le GIEC-GTSERC a établi le Centre de diffusion des données (CDD; **http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk**) du GIEC en 1998, afin de faciliter l'accès aux extrants des MCP et aux scénarios de changement climatique pour la recherche sur la vulnérabilité, les impacts et l'adaptation. Malheureusement, les chercheurs n'ont accès qu'aux données à l'échelle planétaire, de sorte qu'ils doivent être en mesure de traiter et de manipuler de grands volumes de données. Cela peut poser un problème pour certains d'entre eux.

Au Canada, les chercheurs qui étudient les impacts et l'adaptation peuvent accéder aux scénarios de changement climatique par l'intermédiaire du projet Scénarios canadiens de répercussions climatiques (**http://www.cics.uvic.ca/scenarios**), qui fournit des scénarios de changement climatique pour le Canada et l'Amérique du Nord, ainsi que de l'information connexe concernant l'élaboration des scénarios et leur application aux études sur les impacts (*voir* la figure 2). Conçu pour faciliter la recherche sur les impacts du changement climatique au Canada, il permet aux chercheurs de visualiser les scénarios et de télécharger des données à partir du site Web. En outre, il met à leur disposition des outils qui les aident à choisir les scénarios à utiliser dans leurs recherches et qui leur permettent de construire des scénarios ayant une résolution spatiale et temporelle plus fine que celle que l'on obtient actuellement dans les produits dérivés des modèles climatiques planétaires.

Modèles climatiques régionaux

L'élaboration de modèles climatiques régionaux (MCR) a beaucoup progressé depuis 10 ans.[38] Les données des MCR ont une résolution spatiale plus élevée que celle des MCP. Elles s'appuient sur les données du MCP, de sorte qu'elles peuvent comporter les mêmes erreurs systématiques.[39] Un de leurs avantages, par contre, réside dans le fait qu'ils fournissent de l'information spatialement plus détaillée et dont l'échelle convient mieux aux études sur les impacts climatiques.[40]

Les données issues des MCR suscitent un vif intérêt parmi les chercheurs qui étudient les impacts du changement climatique et l'adaptation. Les chercheurs canadiens, en effet, ont accès à une quantité limitée de données provenant du modèle climatique régional canadien (MRCC) par l'entremise du Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique, dont le

FIGURE 2 : Exemple de données que le projet des Scénarios canadiens de répercussions climatiques met à la disposition des chercheurs qui étudient les impacts du changement climatique

Sujet	Questions
Informations sur les fichiers de données	Explique le format utilisé pour les fichiers de données des scénarios.
Climats de base	Fournit des renseignements plus détaillés sur le climat de base utilisé.
Notes sur l'élaboration des scénarios	Explique comment les scénarios présentés dans ces pages ont été élaborés.
Tableau d'information sur les MCP	Expose les principales caractéristiques des modèles climatiques planétaires (MCP) et fournit des renseignements sur les publications qui décrivent les modèles plus en détail.

site Web (**http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/french/data/rcm/rcm.shtml**) renferme d'ailleurs des simulations sur des tranches temporelles (1975-1984, 2040-2049 et 2080-2089). Le consortium Ouranos, qui a ses bureaux à Montréal, fournit des services d'aide à l'élaboration du MRCC et exécute également des simulations climatiques à des échelles géographiques très en demande dans les études sur les impacts et l'adaptation.[41]

Les MCR ont été utilisés dans des études récentes, notamment un projet réalisé au Canada dans le but d'étudier les effets du changement climatique sur les incendies dans la forêt boréale.[42] On y aura probablement de plus en plus recours dans la recherche sur les impacts et l'adaptation, à mesure que s'amélioreront les modèles et qu'augmentera la disponibilité des données sur les scénarios issus des MCR.

Autres types de scénarios climatiques

Scénarios synthétiques

Les scénarios synthétiques, parfois appelés « arbitraires » ou « incrémentiels », sont les scénarios de changement climatique les plus simples actuellement disponibles. Ils servent principalement à l'analyse des sensibilités, qui a pour but de déterminer la réaction d'un système donné (p. ex., rendement agricole, débit fluvial) à un large éventail de variations climatiques. Le scénario synthétique s'obtient en rajustant d'une quantité arbitraire (p. ex., accroissement des précipitations de 10 p. 100) la valeur historique d'une variable climatique donnée. Dans la plupart des études où l'on utilise des scénarios synthétiques, on a tendance à appliquer des facteurs qui demeurent constants tout au long de l'année, bien que l'on introduise parfois des variations saisonnières.

Scénarios analogiques

Les scénarios analogiques utilisent des données climatiques recueillies soit sur le site à l'étude (analogues temporels), soit à un autre endroit dont le climat ressemble à celui que l'on prévoit dans le site à l'étude (analogues spatiaux). Les scénarios analogues temporels peuvent être construits à partir de l'information paléoclimatique dérivée des données géologiques (p. ex., vestiges de flore et de faune fossiles, dépôts sédimentaires, cernes de croissance d'arbre ou carottes de glace) ou des relevés instrumentaux. Les scénarios analogiques ont l'avantage de représenter des conditions qui ont réellement existé, de sorte que nous savons qu'elles sont physiquement plausibles et que nous disposons généralement de données pour un certain nombre de variables climatiques. Néanmoins, comme les scénarios analogiques ne rendent pas les gaz à effet de serre responsables des changements, certains chercheurs leur attribuent une valeur limitée dans l'évaluation quantitative des impacts du changement climatique.[43]

Scénarios socio-économiques

On emploie également des scénarios pour obtenir de l'information sur les variations projetées des conditions sociales et économiques. Ces scénarios renferment de l'information sur la population et le développement humain, les conditions économiques, la couverture terrestre et l'utilisation des terres, et la consommation d'énergie.

Jusqu'à maintenant, les scénarios socio-économiques ont surtout servi à alimenter les MCP en données concernant les futures émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols. L'évolution des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols dépend évidemment d'une foule de facteurs, dont la croissance de la population, l'activité économique et la technologie. On élabore une suite de scénarios d'émissions qui rendent compte de toutes les situations possibles en ce qui concerne les émissions. Pour son troisième rapport d'évaluation,[44] le GIEC a commandé un rapport spécial sur les scénarios d'émissions (*voir* la référence 45), qui en décrit une quarantaine. Six d'entre eux sont considérés comme des « scénarios marqueurs », dont l'emploi est recommandé dans l'élaboration des modèles climatiques. Ils indiquent que la température moyenne du globe pourrait s'élever d'une valeur comprise entre 1,4 et 5,8 °C d'ici 2100.

Plus récemment, des chercheurs ont employé des scénarios socio-économiques pour étudier la sensibilité, la capacité d'adaptation et la vulnérabilité de systèmes sociaux et économiques face au changement climatique.[17] Ce type de scénario pose toutefois un certain nombre de difficultés. Par exemple, en plus des incertitudes entourant les prévisions de la population, de la consommation d'énergie et de l'activité économique, les estimations d'un grand nombre de ces variables ne sont généralement disponibles que pour de grandes régions, et il faut alors les ramener à des échelles plus petites, ce qui ajoute à l'incertitude.

Le Centre de diffusion des données du GIEC fournit des liens vers le Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) de l'université Columbia, à New York, où l'on a accès à des estimations nationales de la population et du produit intérieur brut (PIB). D'autres groupes travaillent à des scénarios socio-économiques à l'échelle planétaire, notamment le World Business Council for Sustainable Development et le Conseil mondial de l'énergie. Au Canada, Statistique Canada a élaboré des scénarios de variables socio-économiques, comme des projections démographiques, pour diverses périodes allant jusqu'à 2026 (*voir*, p. ex., **http://www.statcan.ca/francais/IPS/Data/91C0019.htm**).

Établissement du coût du changement climatique

« Il existe quelques vérités et beaucoup de suppositions au sujet des répercussions possibles du changement climatique sur les secteurs de l'économie qui sont sensibles au climat. »[46]

L'économie canadienne est lourdement tributaire de la santé et de la durabilité des industries du secteur des ressources naturelles, comme les forêts, les pêches et l'agriculture, et dépend également de la fiabilité des infrastructures essentielles, notamment les réseaux de transport et les systèmes de soins de santé. La disponibilité et la qualité des ressources en eau ainsi que la durabilité des zones côtières sont également des facteurs importants du bien-être économique des Canadiens. Comme on peut le constater en parcourant les différents chapitres du présent rapport, le changement climatique apportera son lot de possibilités et de défis à chaque secteur. Il aura une foule de répercussions économiques, tantôt négatives, tantôt positives, et exigera de notre part de nouveaux investissements dans l'adaptation.

Pour l'instant, il est difficile d'établir des estimations quantitatives des coûts potentiels des impacts du changement climatique.[18, 46, 47] Outre le fait que l'on ne s'entend pas sur les approches et hypothèses à privilégier, les données disponibles sont encore limitées et une foule d'incertitudes continuent d'entourer, entre autres, les variations des conditions climatiques, sociales et économiques ainsi que les solutions à mettre en œuvre pour y faire face. La recherche en cours est motivée par le fait qu'une évaluation utile des coûts du changement climatique, marchands et non marchands, aura beaucoup de poids dans les décisions qui seront prises en matière d'atténuation et d'adaptation. En fait, on considère les concepts et les méthodes de la science économique comme le principal moyen de transposer dans le domaine des politiques les résultats de la recherche scientifique sur le changement climatique.[48]

Évaluation des impacts économiques

Tant aux États-Unis qu'au Canada (*voir* le tableau 4), plusieurs chercheurs ont tenté d'estimer les coûts potentiels du changement climatique dans divers secteurs de l'économie à l'échelle nationale. Leurs études emploient différentes approches, formulent différentes hypothèses et embrassent différentes échelles, ce qui interdit toute comparaison directe entre des pays ou des secteurs. Les chiffres suivants illustrent l'ampleur des variations des résultats.

En général, l'évaluation des impacts économiques du changement climatique consiste à estimer la valeur des impacts marchands et non marchands directs et indirects, les coûts de mise en œuvre des mesures d'adaptation et les avantages que l'on prévoit en retirer. Pour les besoins de notre analyse, les impacts directs sont ceux qui se produisent dans la région étudiée, tandis que les impacts indirects résultent des effets du changement climatique sur les systèmes et les secteurs qui se trouvent dans d'autres régions. Les biens et services marchands désignent les biens et services dont la propriété est bien établie et qui sont offerts contre rémunération; les biens et services non marchands ne sont pas vendus dans le commerce et ne font pas l'objet de droits de propriété bien définis.[46] Les impacts sur les biens marchands peuvent comprendre, par exemple, la modification de la production des secteurs de l'agroalimentaire, des forêts et des pêches, les fluctuations de l'approvisionnement en eau et les variations des coûts d'assurance. Les impacts sur les biens et services non marchands peuvent comprendre, par exemple, les changements qui surviennent dans les écosystèmes, les variations du nombre de pertes de vies humaines, les effets sur les cultures et les variations de la stabilité politique.[46] Notons que les impacts sur les services non marchands se répercutent souvent sur les biens et services marchands.

Beaucoup de recherches ont été faites pour déterminer la valeur des biens marchands et non marchands. Cette évaluation s'effectue souvent en mesurant la volonté des consommateurs de payer pour un changement positif ou d'accepter un changement négatif.[54] Les impacts sur les biens marchands sont généralement plus faciles à estimer que les impacts sur les entités non marchandes, mais des problèmes se posent dans un cas comme dans l'autre. Par exemple, la valeur des biens et services non marchands est influencée par les préférences personnelles, qui ont tendance à changer dans le temps de manière imprévisible.[47] La valeur des biens marchands dépend des variations de l'offre et de la demande, elles-mêmes déterminées par un grand nombre de facteurs qui s'exercent à l'échelle locale, régionale, nationale ou internationale.

Des chercheurs en sont venus à la conclusion que la probabilité de recourir à telle ou telle mesure d'adaptation sera différente selon que les impacts se font sentir sur des biens et services marchands ou non marchands. Comme les gens (particuliers, entreprises, ménages ou établissements publics) ont des droits de propriété sur les biens marchands, le changement climatique modifierait la valeur de leurs actifs. Ce facteur incite à prendre des mesures d'adaptation susceptibles d'atténuer les pertes et de permettre de tirer parti des possibilités qui s'offrent.[46] Les ménages et les

TABLEAU 4 : Estimations annuelles des effets du changement climatique sur l'économie

Secteur	Pays	Scénario de changement climatique	Estimation annuelle de l'effet sur l'économie
Agriculture[49]	É.-U. (2 060)	température +1,5-5 °C et précipitations +7-15 %	+0,2-65 milliards $US
Agriculture[50]	Canada (2 100)	MCP du GIEC	19-49 milliards $US
Foresterie[51]	É.-U. (2 140)	UKMO, OSU, GFDL-R30	11-23 milliards $US
Élévation du niveau de la mer[52]	É.-U.	Élévation de 33-67 cm du niveau moyen de la mer	–895-2 988 milliards $US
Production d'hydroélectricité[53]	É.-U. (2 060)	température +1,5 °C et précipitations +7 %	–2,75 milliards $US

Abréviations : UKMO = United Kingdom Meteorological Office; OSU = Université de l'État de l'Oregon; GFDL = Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

entreprises ont tout intérêt à prendre des mesures d'adaptation, car ils en constateront directement les avantages.[55] Par contre, les marchés offrent moins de stimulants et de mécanismes pour s'adapter aux impacts du changement climatique sur les biens non marchands, d'autant plus qu'on ne sait pas exactement à qui incomberait la responsabilité de prendre les mesures d'adaptation. Il faut tenir compte de ces facteurs lorsqu'on tente d'évaluer le rôle des mesures d'adaptation dans les études sur les impacts économiques.

Les coûts possibles du changement climatique ont été estimés de plusieurs façons, et les études varient considérablement par leur complexité et leur degré de détail. Une des approches utilisées consiste à examiner des tendances ou des événements passés que l'on croit représentatifs des conditions futures. Par exemple, certains chercheurs se sont penchés sur les coûts économiques des désastres naturels, en se basant sur les réclamations d'assurance et les bases de données pour déterminer les coûts de ces événements (*voir*, p. ex., les références 21, 56). D'autres ont étudié les impacts économiques des anomalies climatiques du passé, comme des hivers plus doux que la moyenne ou des étés extrêmement chauds. Les chercheurs qui se sont penchés sur la question de l'élévation du niveau moyen de la mer ont utilisé des projections (p. ex., 0,5 m d'ici 2100) et calculé la perte de valeur que subirait une propriété par suite d'une inondation ou de l'érosion.[52, 57] Les études de ce genre présentent l'inconvénient de se limiter à un seul aspect du changement climatique et de ne pas tenir compte suffisamment des coûts et des avantages de l'adaptation.

Une approche plus holistique consiste à appliquer une série de modèles dans le cadre d'une évaluation intégrée afin de produire des estimations des coûts économiques. Cette évaluation intégrée « combine de manière cohérente les résultats et les modèles émanant des sciences biologiques, économiques et sociales, ainsi que les interactions entre celles-ci »[14]. Le fait de s'en remettre autant à des modèles et à des suppositions entraîne cependant une cascade d'incertitudes.[58]

Questions particulières

Échelle de l'analyse

La plupart des études effectuées jusqu'à maintenant au sujet des coûts ont modélisé les impacts du changement climatique à l'échelle nationale ou internationale (*voir* les références 18, 46; *voir aussi* le tableau 4). Comme les données sur les changements et les impacts sont regroupées par grandes régions, elles occultent les différences qui peuvent exister entre les diverses parties d'une région. De plus, les analyses effectuées à cette échelle font abstraction du fait que, dans bien des cas, les décisions d'adaptation sont prises à l'échelle régionale ou locale.[59] Par ailleurs, l'analyse régionale des conséquences économiques du changement climatique est limitée par la pauvreté des données économiques régionales et les difficultés posées par l'étude des interactions économiques et biologiques de ces régions. Même si des cadres de recherche ont été établis pour tenir compte de ces distinctions (p. ex., référence 46), on s'en sert rarement pour faciliter les analyses économiques à l'échelle régionale.

Rendre compte des mesures d'adaptation

Plusieurs chercheurs se sont dits préoccupés par la façon dont l'adaptation est présentée dans les études sur les coûts.[46, 60] On s'entend sur l'importance déterminante qu'auront les mesures d'adaptation dans la réduction des coûts du changement climatique,[8] mais de nombreuses études en font peu de cas. D'autres études posent des hypothèses simplistes au sujet de l'adaptation, se limitant au tout ou rien, et ne contiennent pas d'estimations réalistes des coûts de mise en œuvre des mesures d'adaptation,[47] même si la recherche indique que les coûts de l'adaptation au changement climatique seraient considérables (*voir* le tableau 5).

Toujours au sujet de la prise en compte des mesures d'adaptation dans les études sur les coûts, on déplore également l'absence de distinctions entre l'adaptation anticipée et l'adaptation autonome, en dépit du fait que la première présente généralement des avantages économiques. En outre, les chercheurs ne se sont pas beaucoup intéressés à la répartition des coûts et des avantages de l'adaptation.[61] Or, ces facteurs réduisent la fiabilité des estimations des coûts.

Interactions des régions et des secteurs

Il existe des relations étroites entre l'économie intérieure et l'économie internationale. Le Canada dépend beaucoup des échanges commerciaux et, à ce titre, il est sensible aux impacts du changement climatique qui se transmettent par les marchés internationaux.

TABLEAU 5 : Estimation des coûts d'adaptation de certains types d'infrastructure à une hausse de 5 p. 100 de la température moyenne et à une augmentation de 10 p. 100 des précipitations moyennes au cours du présent siècle. Valeurs et coûts en dollars de 2001 (estimations préliminaires d'après la référence 54)

Adaptation	Coût estimé
Construction de routes toutes saisons (ailleurs que sur le pergélisol)	85 000 $/km + 65 000-150 000 $/pont
Construction de routes toutes saisons (sur le pergélisol)	500 000 $/km
Remplacement des ponts en milieu côtier en prévision de l'élévation du niveau de la mer	600 000 $/pont
Augmentation de la capacité de traitement des eaux usées (Halifax)	6,5 milliards $

D'après les valeurs et les coûts en dollars de 2001

Autrement dit, l'économie canadienne serait touchée par les impacts directs du changement climatique dans d'autres pays qui ont un rôle à jouer sur l'offre et la demande mondiale d'un produit donné. Pour l'instant, peu de chercheurs examinent les répercussions positives ou négatives que le marché international peut avoir au Canada ou ailleurs.

De plus, les secteurs de l'économie ne sont pas isolés; les impacts et les mesures d'adaptation dans un secteur donné auraient des conséquences dans plusieurs autres. Différents secteurs partagent des ressources ou se fournissent mutuellement des biens ou des services.[53] Par exemple, l'agriculture, l'industrie du tourisme et des loisirs, le secteur hydroélectrique, le secteur municipal et d'autres industries vont tous puiser dans des ressources en eau communes. Or, une diminution des disponibilités en eau augmenterait vraisemblablement la concurrence entre ces secteurs, d'où un risque de conflit (*voir* le chapitre intitulé « Ressources en eau »).

Valeur des services non marchands

Même s'il est clairement reconnu que les coûts du changement climatique ne sont pas seulement d'ordre économique, il est extrêmement difficile d'attribuer une valeur à des services non marchands, comme des fonctions d'écosystèmes et des usages culturels. Par exemple, les avantages d'une terre humide, notamment en ce qui concerne la filtration des eaux, la régularisation des crues et l'habitat de la faune, sont difficiles à quantifier. C'est pourquoi la plupart des études sur les coûts ne tiennent pas suffisamment compte des services non marchands.

Cela dit, on constate une sensibilisation croissante au rôle des écosystèmes dans la santé économique. Nous en sommes redevables en grande partie aux initiatives de développement durable. Ainsi, un récent rapport suggère d'inclure dans l'évaluation de la santé économique du Canada des mesures de la couverture forestière et de la couverture de terres humides.[62] Dans d'autres programmes, on a commencé à déterminer la valeur économique des terres humides pour le Canada[63] et à s'intéresser aux aspects de la forêt autres que les ressources ligneuses (p. ex., la faune, la biodiversité, les loisirs).[64] Ces travaux, même s'ils ne sont pas réalisés dans le contexte de l'étude du changement climatique, contribueront à améliorer les études sur les coûts du changement climatique.

Travaux futurs

Dans le troisième rapport d'évaluation du GIEC, les experts ont souligné le peu de progrès accomplis sur le plan de la méthode d'établissement des coûts et d'évaluation entre 1995 et 2001.[12] Il reste donc beaucoup à faire pour quantifier les coûts et les avantages économiques du changement climatique; il s'agit d'une grande lacune de la recherche au Canada[47] et sur la scène internationale.[65] Voici quelques-unes des recommandations formulées en ce qui concerne les travaux à effectuer (d'après les références 46, 66, 67, 68, 69) :

- tenir compte davantage des caractéristiques (socio-économiques, politiques, culturelles, etc.) des collectivités dans les études sur les coûts, afin que les responsables des politiques aient une meilleure compréhension des impacts régionaux du changement climatique;
- mieux connaître et quantifier les liens entre les secteurs et les régions;
- améliorer les estimations des pertes de biens non marchands;

- intégrer la vulnérabilité et le processus d'adaptation dans les modèles;
- évaluer l'importance des événements extrêmes et de la variabilité climatique;
- examiner dans quelle mesure la capacité d'adaptation influe sur l'ampleur et la nature des coûts du changement climatique (impacts et adaptation).

Conclusion

L'étude des impacts du changement climatique et de l'adaptation exige l'intégration d'un large éventail de disciplines, notamment les sciences physiques, biologiques, sociales et économiques. Même si cet impératif est difficile à réaliser en raison de l'incertitude de l'avenir, il est nécessaire d'obtenir des résultats qui aideront les personnes, les collectivités, les gouvernements et l'industrie à faire face au changement climatique. Comme l'évolution du climat touchera toutes les régions du Canada et aura un impact direct ou indirect sur presque toutes les activités, il est nécessaire de définir objectivement les priorités de la recherche. Le concept de vulnérabilité peut servir de critère à cet égard.

Il est possible de procéder à une première évaluation de la vulnérabilité sans connaître avec précision les changements qui se produiront dans l'avenir, en analysant la sensibilité passée à la variabilité climatique et la capacité actuelle du système de s'adapter aux variations des conditions. Ainsi, nous pouvons définir les fourchettes d'adaptation et les seuils critiques. Les scénarios des changements climatiques et socio-économiques offrent un éventail de futurs plausibles en fonction desquels nous pouvons gérer les risques à venir. Les incertitudes entourant la nature du changement climatique ne devraient pas être une raison de retarder la mise en œuvre de mesures d'adaptation au changement climatique; elles devraient plutôt nous amener à nous concentrer sur les mesures d'adaptation susceptibles d'atténuer les vulnérabilités actuelles en augmentant les fourchettes d'adaptation et la capacité d'adaptation.

L'évaluation des coûts (et des avantages) du changement climatique influera sur de nombreuses décisions fondamentales concernant l'adaptation au changement climatique et l'atténuation des impacts, étant donné qu'un grand nombre d'impacts sociaux et environnementaux majeurs sont difficiles à quantifier. L'étude de cette question a relativement peu progressé au cours des dernières années, et c'est pourquoi elle demeure une priorité de la recherche dans l'immédiat.

À vrai dire, un grand nombre de questions ne sont pas encore résolues, et il nous reste encore beaucoup de recherches à faire dans le domaine des impacts du changement climatique et de l'adaptation. Les trois thèmes abordés dans le présent chapitre seront largement présents dans les activités futures. Par exemple, le quatrième rapport d'évaluation du GIEC mettra l'accent sur l'adaptation et accordera une plus grande place aux impacts socio-économiques.[70, 71]

Références

Les références citées en caractères gras désignent des rapports de recherche portant sur des travaux financés dans le cadre du Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada.

(1) Smit, B., I. Burton, R. Klein et J. Wandel. « An anatomy of adaptation to climate change and variability », *Climatic Change*, vol. 45, n° 1, 2000, pp. 233-251.

(2) Smit, B. et O. Pilifosova. « From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction », dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, J.B. Smith, R.J.T. Klein et S. Huq (éd.), 2003.

(3) Foland, C.K., T.R. Karl, J.R. Christy, R.A. Clarke, G.V. Gruza, J. Jouzel, M.E. Mann, J. Oerelemans, M.J. Salinger et S.W. Wang. « Observed climate variability and change », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail I au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, pp. 99-182. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/048.htm (accès en octobre 2003).

(4) Berkes, F. et D. Jolly. « Adapting to climate change: social-ecological resilience in a Canadian western Arctic community », dans *Conservation Ecology*, vol. 5, n° 2, 2002, pp. 514-532.

(5) Walther, G.R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg et F. Bairlein. « Ecological responses to recent climate change », dans *Nature*, vol. 416, 2002, pp. 389-395.

(6) Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig et J.A. Pounds. « Fingerprints of global warming on wild animals and plants », *Nature*, vol. 42, 2003, pp. 57-60.

(7) Watson, R.T., J.J. McCarthy et O.F. Canziani. « Preface; in Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability », J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. ix. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/004.htm (accès en octobre 2003).

(8) Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein et G. Yohe. « Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White, (éd.) 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, pp. 877-912. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/641.htm (accès en octobre 2003).

(9) Willows, R. et R. Connell. « Climate adaptation: risk, uncertainty and decision-making », *United Kingdom Climate Impacts Programme Technical Report*, mai 2003. Disponible en ligne à http://www.ukcip.org.uk/risk_uncert/risk_uncert.html (accès en octobre 2003).

(10) Rosenzweig, C., A. Iglesias et W. Baethgen. « Evaluating climate impacts, adaptation, and vulnerability in agriculture », dans *Proceedings of Climate Change Vulnerability and Adaptation Assessment Methods Training Course*, Trieste, Italie, du 3 au 14 juin 2002.

(11) Warrick, R.A. « The CC:TRAIN/PICCAP training course on climate change vulnerability and adaptation assessment – the Pacific island version », dans *Proceedings of Climate Change Vulnerability and Adaptation Assessment Methods Training Course*, Trieste, Italie, du 3 au 14 juin 2002.

(12) Ahmad, Q.K. et R.A. Warrick. « Methods and tools », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, pp. 105-144. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/068.htm (accès en octobre 2003).

(13) Kelly, P.M. et W.N. Adger. « Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation », dans *Climatic Change*, vol. 47, n° 4, 2000, p. 325-352.

(14) Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Annexe B : glossaire », 2001. Consultable en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/syrglossfrench.pdf (accès en octobre 2003).

(15) Jones, R. « Managing uncertainty in climate change projections – issues for impact assessment: an editorial comment », *Climatic Change*, vol. 45, n°s 3-4, 2000, pp. 403-19.

(16) Pielke, R.A., Sr. « Overlooked issues in the U.S. national climate and IPCC assessments », dans *Climatic Change*, vol. 52, n°s 1-2, 2002, pp. 1-11.

(17) Carter, T.R., E.L. La Rovere, R.N. Jones, R. Leemans, L.O. Mearns, N. Nakicenovic, A.B. Pittock, S.M. Semenov et J. Skea. « Developing and applying scenarios; in Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability », J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, pp. 145-190. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/122.htm (accès en octobre 2003).

(18) Yohe, G. et M. Schlesinger. « The economic geography of the impacts of climate change », dans *Journal of Economic Geography*, vol. 2, nº 3, 2002, pp. 311-341.

(19) Klein, R.J.T. *Vulnerability to climate change from the stakeholder's perspective*. Document présenté aux First Sustainability Days, Potsdam, Allemagne, du 28 septembre au 5 octobre 2001. Disponible en ligne à http://www.pik-potsdam.de/~dagmar/klein_files/frame.htm (accès en octobre 2003).

(20) O'Connor, R.E., P.J. Anderson, A. Fisher et R.J. Bord. « Stakeholder involvement in climate assessment: bridging the gap between scientific research and the public », *Climate Research*, vol. 14, 2000, pp. 255-260.

(21) Yohe, G. et R.S.J. Tol. « Indicators for social and economic coping capacity – moving toward a working definition of adaptive capacity », dans *Global Environmental Change – Human and Policy Dimensions*, vol. 12, 2002, pp. 25-40.

(22) Klein, R.J.T. et D.C. Maciver. « Adaptation to climate variability and change: methodological issues », dans *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, nºs 3-4, 1999, pp. 189-198.

(23) Parson, E.A., R.W. Correll, E.J. Barron, V. Burkett, A. Janetos, L. Joyce, T.R. Karl, M.C. Maccracken, J. Melillo, M.G. Morgan, D.S. Schimel et T. Wilbanks. « Understanding climatic impacts, vulnerabilities and adaptation in the United States: building a capacity for assessment », dans *Climatic Change*, vol. 57, 2003, pp. 9-42.

(24) Beauchemin, G. « Lessons learned – improving disaster management », dans *Proceedings from ICLR's High Impact Weather Conference*, Ottawa (Ontario), le 11 avril 2002. London (Ontario), Institute for Catastrophic Loss Reduction, University of Western Ontario, pp. 14-18.

(25) Pittock, A.B. et R.N. Jones. *Adaptation to what and why? Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 61, 2000, pp. 9-35.

(26) **Furgal, C.M., P. Gosselin et D. Martin. « Climate change and health in Nunavik and Labrador: what we know from science and Inuit knowledge ». *Rapport commandé par le Fonds d'action pour le changement climatique*, Ressources naturelles Canada, 2002, 139 p.**

(27) Riedlinger, D. « Responding to climate change in northern communities: impacts and adaptations », dans *Arctic*, vol. 4, nº 1, 2001, pp. 96-98.

(28) de Loe, R., R. Kreutzwiser et L. Moraru. « Adaptation options for the near term: climate change and the Canadian water sector », dans *Global Environmental Change*, vol. 11, 2001, pp. 231-245.

(29) Adger, W.N. et P.M. Kelly. « Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements », dans *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, nºs 3-4, 1999, pp. 253-266.

(30) Smit, B., I. Burton, R.J.T. Klein et R. Street. « The science of adaptation: a framework for assessment », dans *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, 1999, pp. 199-213.

(31) Smit, B. et M.W. Skinner. « Adaptation options in agriculture to climate change: a typology », dans *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 7, 2002, pp. 85-114.

(32) **Fédération des municipalités canadiennes. *Final report on Federation of Canadian Municipalities municipal infrastructure risk project: adapting to climate change*. Rapport commandé par le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 2001.**

(33) Parry, M. et T. Carter. *Climate Impact and Adaptation Assessment: A Guide to the IPCC Approach*, Londres, Royaume-Uni, Earthscan Publications Ltd., 1998, 166 p.

(34) Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Groupe de travail sur les scénarios d'évaluation des répercussions climatiques (GTSERC). *General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment, Version 2*. Préparé par T.R. Carter, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Groupe de travail sur les scénarios d'évaluation des répercussions climatiques, 2003, 63 p.

(35) Mearns, L.O., M. Hulme, T.R. Carter, R. Leemans, M. Lal et P. Whetton. « Climate scenario development », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail I au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, pp. 739-768. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/474.htm (accès en octobre 2003).

(36) **Cohen, S. et T. Kulkarni. *Water management and climate change in the Okanagan basin*, 2001. Rapport commandé par le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 43 p.**

(37) Henderson, N.S., E. Hogg, E.M. Barrow et B. Dolter. « Climate change impacts on the island forests of the Great Plains and the implications for nature conservation policy: the outlook for Sweet Grass Hills (Montana), Cypress Hills (Alberta-Saskatchewan), Moose Mountain (Saskatchewan), Spruce Woods (Manitoba) and Turtle Mountain (Manitoba–North Dakota) », *Prairie Adaptation Research Collaborative*, Université de Regina, Regina (Saskatchewan), 2002, 116 p.

(38) Université du Québec à Montréal. *Modèle régional canadien du climat*, 2003. Disponible en ligne à http://www.mrcc.uqam.ca/V_f/Cadres/introduction.html (accès en octobre 2003).

(39) Institut canadien d'études climatologiques. « Foire aux questions », 2002. Disponible en ligne à http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?F_Infos (accès en octobre 2003).

(40) Laprise, R., D. Caya, M. Giguère, G. Bergeron, H. Côté, J.-P. Blanchet, G.J. Boer et N.A. McFarlane. « Climate and climate change in western Canada as simulated by the Canadian Regional Climate Model », dans *Atmosphere-Ocean*, vol. 36, nº 2, 1998, pp. 119-167.

(41) Ouranos. « Mission d'Ouranos », 2003. Disponible en ligne à http://www.ouranos.ca/intro/miss_f.html (accès en octobre 2003).

(42) Stocks, B.J. *Changement climatique : conséquences sur la gestion des incendies de forêt*, Ressources naturelles Canada, rapport DE0057, 2000.

(43) Smith, J.B. et M. Hulme. « Climate change scenarios », dans *United Nations Environment Programme (UNEP) Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Studies*, Version 2.0, I. Burton, J.F. Feenstra, J.B. Smith et R.S.J. Tol (éd.), Programme des Nations Unies pour l'environnement et Institut pour l'étude de l'environnement, Amsterdam, Vrije Universiteit, 1998, pp. 3-1–3-40.

(44) Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, 2001. Contribution du Groupe de travail I au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 881 pages. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm (accès en octobre 2003).

(45) Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H-H Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor et Z. Dadi. *Emissions Scenarios*, 2000. Rapport spécial du Groupe de travail III du *Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 599 p.

(46) Abler, D., J. Shortle, A. Rose et G. Oladosu. « Characterizing regional economic impacts and responses to climate change », dans *Global and Planetary Change*, vol. 25, nºs 1-2, 2000, pp. 67-81.

(47) Burton, I., P. Bein, Q. Chiotti, D. Demeritt, M. Dore et D. Rothman. *Costing climate change in Canada: impacts and adaptation*, Ottawa (Ontario), Ressources naturelles Canada, de l'Adaptation, 2000.

(48) DeCanio, S.J., R.B. Howarth, A.H. Sanstad, S.H. Schneider et S.L. Thompson. *New directions in the economics and integrated assessment of global climate change*, 2000. Rapport préparé pour le Pew Center on Global Climate Change. Disponible en ligne à http://www.pewclimate.org/projects/directions.cfm (accès en octobre 2003).

(49) Adams, R., B. McCarl, K. Segerson, C. Rosenzweig, K. Bryant, B. Dixon, R. Conner, R. Evenson et D. Ojima. « Economic effects of climate change on United States agriculture », dans *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, R. Mendelsohn et J. Neumann (éd.), Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 1999.

(50) Mendelsohn, R., W. Morrison, M. Schlesinger et N. Andronova. « Country-specific market impacts of climate change », dans *Climatic Change*, vol. 45, 2000, pp. 553-569.

(51) Sohngen, B. et R. Mendelsohn. « The impacts of climate change on the United States timber market », dans *The Impact of Climate Change on the Unites States Economy*, R. Mendelsohn et J. Neumann (éd.), Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 1999.

(52) Yohe, G., J. Neumann et P. Marshall. « The economic damage induced by sea level rise in the United States », dans *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, R. Mendelsohn et J. Neumann (éd.), Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 1999.

(53) Hurd, B., M. Callaway, J. Smith et P. Kirshen. « Economic effects of climate change on United States water resources », dans *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, R. Mendelsohn et J. Neumann (éd.), Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 1999.

(54) **Dore, M. et I. Burton. *The costs of adaptation to climate change: a critical literature review*, 2000. Rapport commandé par le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada.**

(55) Leary, N.A. « A framework for benefit-cost analysis of adaptation to climate change and climate variability », dans *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, nºs 3-4, 1999, pp. 307-318.

(56) Dore, M. « Forecasting the conditional probabilities of natural disasters in Canada as guide for disaster preparedness », dans *Natural Hazards*, vol. 28, nºs 2-3, 2003, pp. 249-269.

(57) **McCulloch, M.M., D.L. Forbes et R.W. Shaw. *Coastal impacts of climate change and sea-level rise on Prince Edward Island*, 2002. Commission géologique du Canada, dossier public 4261, 62 p. et 11 documents complémentaires.**

(58) Rosenzweig, C. et D. Hillel. *Climate Change and the Global Harvest: Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture*, New York, New York, Oxford University Press, 1998, 352 p.

(59) Hulme, M., E. Barrow, N. Arnell, P. Harrison, T. Johns et T Downing. « Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability », dans *Nature*, vol. 397, n° 25, 1999, pp. 688-691.

(60) Tol, R.S. et S. Fankhauser. « On the representation of impact in integrated assessment models of climate change », dans *Environmental Modeling and Assessment*, vol. 3, 1998, pp. 63-74.

(61) Tol, R.S., S. Fankhauser et J. Smith. « The scope for adaptation to climate change: what can we learn from the impact literature? », dans *Global Environmental Change*, vol. 8, n° 2, 1998, pp. 109-123.

(62) Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie. *Les indicateurs d'environnement et de développement durable pour le Canada*, 2003. Disponible en ligne à http://www.nrtee-trnee.ca/tre/programs/Current_Programs/SDIndicators/ESDI-Report/ESDI-Report_IntroPage_f.htm (accès en octobre 2003).

(63) Environnement Canada. *Détermination de la valeur économique des milieux humides – concepts, méthodes et considérations*, 2002. Disponible en ligne à http://www.on.ec.gc.ca/wildlife/factsheets/fs_wetlands-f.html (accès en octobre 2003).

(64) Ressources naturelles Canada. *La valeur des ressources forestières non ligneuses*, 2003. Disponible en ligne à http://www.rncan.gc.ca/cfs-scf/science/prodserv/story06_f.html (accès en octobre 2003).

(65) McCarthy J., O. Canziani, N. Leary, D. Dokken et K. White (éd.). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001.

(66) Fankhauser, S. et R.S.J. Tol. « Climate change costs: recent advancements in the economic assessment », *Energy Policy*, vol. 24, n° 7, 1996, pp. 665-673.

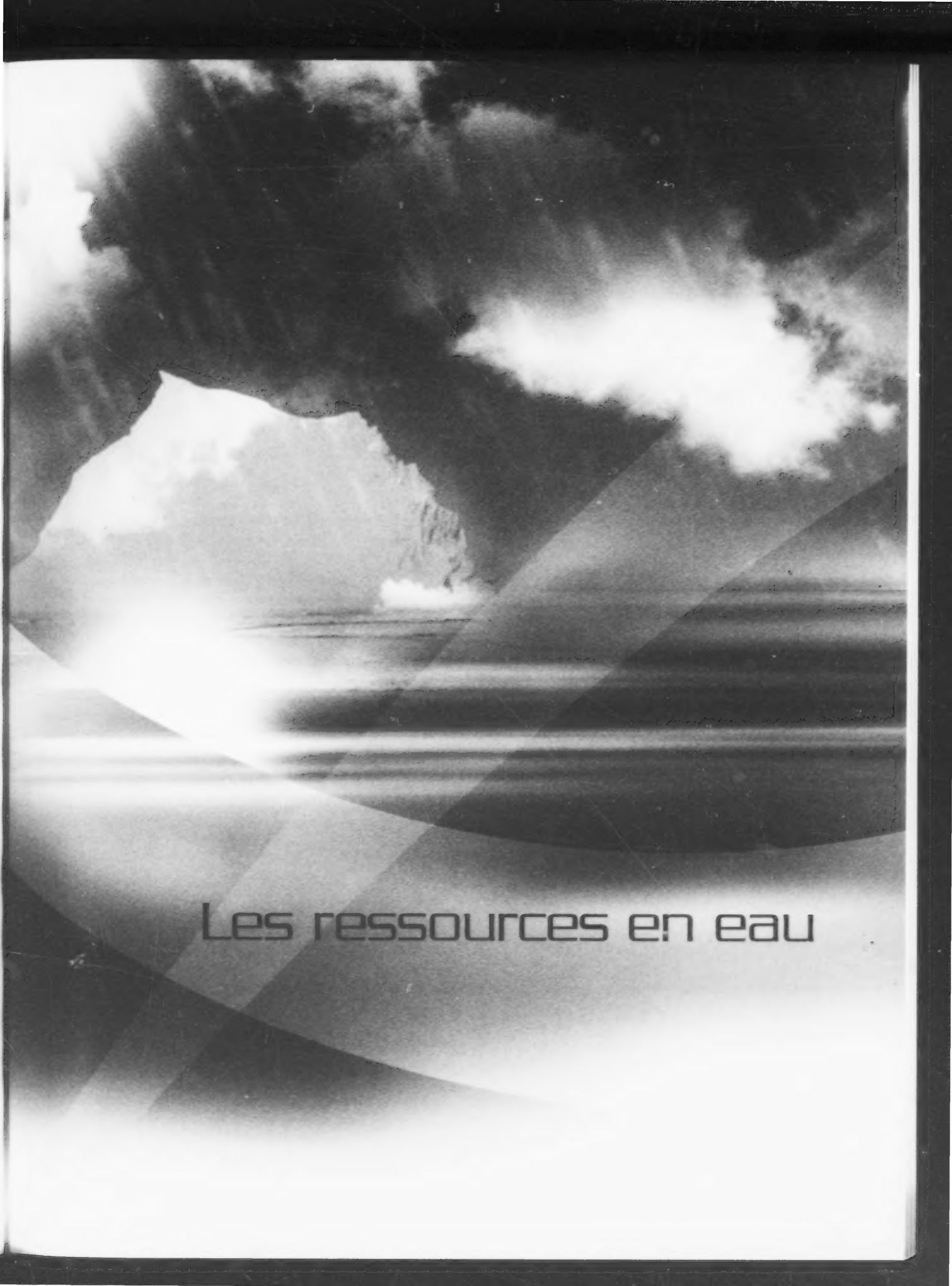
(67) Callaway J., L. Naess et L. Ringius. *Adaptation costs: a framework and methods*, 1998. Chapitre 5 dans *Mitigation and Adaptation Cost Assessment: Concepts, Methods and Appropriate Use*, Centre de collaboration sur l'énergie et l'environnement du Programme des Nations Unies pour l'environnement, Roskilde, Danemark.

(68) Tol, R.S. « Estimates of the damage costs of climate change, part I: benchmark estimates », dans *Environmental and Resource Economics*, vol. 21, 2002a, pp. 47-73.

(69) Tol, R.S. « Estimates of the damage costs of climate change, part II: dynamic estimates », dans *Environmental and Resource Economics*, vol. 21, 2002b, pp. 135-160.

(70) Secrétariat du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Draft report of the twentieth session of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Paris, du 19 au 21 février 2003. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/meet/drepipcc20.pdf (accès en octobre 2003).

(71) Fallow, B. « Time to focus beyond Kyoto », dans *New Zealand Herald*, le 15 mai 2003. Disponible en ligne à http://www.nzherald.co.nz/storydisplay.cfm?reportID=57030 (accès en octobre 2003).



Les ressources en eau

Il est absolument essentiel de connaître la vulnérabilité des ressources en eau du Canada face au changement climatique. L'eau compte parmi les matières premières les plus importantes au Canada. Les Canadiens et les Canadiennes ont besoin d'eau propre et abondante pour les usages domestiques, la production agroalimentaire, énergétique et industrielle, le transport et les loisirs et la préservation des écosystèmes naturels. On estime que la contribution mesurable de l'eau à l'économie canadienne est de l'ordre de 7,5 à 23 milliards de dollars par année.[1]

Le Canada dispose d'une quantité d'eau relativement abondante; il possède 9 p. 100 des ressources en eau douce renouvelable de la planète, alors qu'il abrite à peine 0,5 p. 100 de la population du globe.[2] Toutefois, l'eau n'est pas répartie uniformément sur l'ensemble du territoire canadien, et sa disponibilité varie d'une année à l'autre et selon les saisons. Il en résulte que la plupart des régions du pays éprouvent de temps à autre des difficultés, qu'il s'agisse de pénuries causées par la sécheresse, d'inondations ou de problèmes de qualité de l'eau. Par exemple, la sécheresse qui a sévi en 2001 sur l'ensemble du territoire canadien (*voir* le tableau 1) a eu des impacts économiques et sociaux considérables. Les deux épisodes d'inondation majeurs survenus au cours des dix dernières années, soit celui de la région du Saguenay, au Québec, en 1996, et celui de la rivière Rouge, au Manitoba, en 1997, comptent parmi les désastres naturels les plus coûteux de l'histoire canadienne.

Dans son troisième rapport d'évaluation sur l'évolution du climat, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat prévoit une élévation de 1,4 à 5,8 °C des températures moyennes à la surface de la Terre d'ici 2100. Les changements de cette importance auront un impact considérable sur les ressources hydriques au Canada.[4] Les variables climatiques, comme la température et les précipitations, influent grandement sur le cycle hydrologique, et leurs variations vont modifier les régimes de ruissellement et d'évaporation ainsi que la quantité d'eau emmagasinée dans les glaciers, la neige accumulée, les lacs, les terres humides, les sols et les aquifères. Cependant, l'ampleur et, dans certains cas, la direction des changements sont encore incertaines. Les modèles climatiques, en effet, prévoient

TABLEAU 1 : La sécheresse de 2001 au Canada[3]

Région	Conditions en 2001
Colombie-Britannique	• L'hiver le plus sec de l'histoire, avec moitié moins de précipitations que la moyenne historique sur toute la côte et dans les régions intérieures du sud
Prairies	• Saskatoon a connu un temps 30 p. 100 plus sec qu'un record vieux de 110 ans • Plusieurs régions ont reçu le plus faible volume de précipitations de leur histoire • Certaines parties du triangle de Palliser ont subi une deuxième ou troisième sécheresse d'affilée
Bassin des Grands Lacs – du Saint-Laurent	• L'été le plus sec en 54 ans • Le sud de l'Ontario (Windsor-Kitchener) a connu les huit semaines les plus sèches de son histoire • Montréal a connu le mois d'avril le plus sec de son histoire, avec 35 jours consécutifs sans précipitations mesurables
Atlantique	• Le troisième été le plus sec de l'histoire • De grandes régions ont reçu à peine 25 p. 100 des précipitations normales en juillet, et le mois d'août a été le plus sec de l'histoire • Le mois de juillet a été le plus sec jamais enregistré à Charlottetown, avec seulement 5 millimètres de pluie

Il est absolument essentiel de connaître la vulnérabilité des ressources en eau du Canada face au changement climatique. L'eau compte parmi les matières premières les plus importantes au Canada. Les Canadiens et les Canadiennes ont besoin d'eau propre et abondante pour les usages domestiques, la production agroalimentaire, énergétique et industrielle, le transport et les loisirs et la préservation des écosystèmes naturels. On estime que la contribution mesurable de l'eau à l'économie canadienne est de l'ordre de 7,5 à 23 milliards de dollars par année.[1]

Le Canada dispose d'une quantité d'eau relativement abondante; il possède 9 p. 100 des ressources en eau douce renouvelable de la planète, alors qu'il abrite à peine 0,5 p. 100 de la population du globe.[2] Toutefois, l'eau n'est pas répartie uniformément sur l'ensemble du territoire canadien, et sa disponibilité varie d'une année à l'autre et selon les saisons. Il en résulte que la plupart des régions du pays éprouvent de temps à autre des difficultés, qu'il s'agisse de pénuries causées par la sécheresse, d'inondations ou de problèmes de qualité de l'eau. Par exemple, la sécheresse qui a sévi en 2001 sur l'ensemble du territoire canadien (voir le tableau 1) a eu des impacts économiques et sociaux considérables. Les deux épisodes d'inondation majeurs survenus au cours des dix dernières années, soit celui de la région du Saguenay, au Québec, en 1996, et celui de la rivière Rouge, au Manitoba, en 1997, comptent parmi les désastres naturels les plus coûteux de l'histoire canadienne.

Dans son troisième rapport d'évaluation sur l'évolution du climat, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat prévoit une élévation de 1,4 à 5,8 °C des températures moyennes à la surface de la Terre d'ici 2100. Les changements de cette importance auront un impact considérable sur les ressources hydriques au Canada.[3] Les variables climatiques, comme la température et les précipitations, influent grandement sur le cycle hydrologique, et leurs variations vont modifier les régimes de ruissellement et d'évaporation ainsi que la quantité d'eau emmagasinée dans les glaciers, la neige accumulée, les lacs, les terres humides, les sols et les aquifères. Cependant, l'ampleur et, dans certains cas, la direction des changements sont encore incertaines. Les modèles climatiques, en effet, prévoient

TABLEAU 1 : La sécheresse de 2001 au Canada[3]

Région	Conditions en 2001
Colombie-Britannique	• L'hiver le plus sec de l'histoire, avec moitié moins de précipitations que la moyenne historique sur toute la côte et dans les régions intérieures du sud
Prairies	• Saskatoon a connu un temps 30 p. 100 plus sec qu'un record vieux de 110 ans • Plusieurs régions ont reçu le plus faible volume de précipitations de leur histoire • Certaines parties du triangle de Palliser ont subi une deuxième ou troisième sécheresse d'affilée
Bassin des Grands Lacs – du Saint-Laurent	• L'été le plus sec en 54 ans • Le sud de l'Ontario (Windsor-Kitchener) a connu les huit semaines les plus sèches de son histoire • Montréal a connu le mois d'avril le plus sec de son histoire, avec 35 jours consécutifs sans précipitations mesurables
Atlantique	• Le troisième été le plus sec de l'histoire • De grandes régions ont reçu à peine 25 p. 100 des précipitations normales en juillet, et le mois d'août a été le plus sec de l'histoire • Le mois de juillet a été le plus sec jamais enregistré à Charlottetown, avec seulement 5 millimètres de pluie

difficilement les variations des précipitations et des événements extrêmes à l'échelle régionale, et notre connaissance des processus hydroclimatiques est imparfaite.

Outre les variations prévues des paramètres hydrologiques, il faut tenir compte des modifications éventuelles des facteurs économiques, démographiques et environnementaux qui influent sur les ressources hydriques. La réaction des consommateurs d'eau ainsi que les mécanismes de gestion de l'eau détermineront dans une large mesure la vulnérabilité des ressources en eau au changement climatique. La capacité et la volonté de la société de prendre des mesures d'adaptation appropriées ont une importance critique.

Les impacts du changement climatique sur les ressources hydriques varieront à travers le pays, parce que les manifestations du changement climatique, les caractéristiques hydrologiques des bassins, la demande d'eau et les pratiques de gestion de l'eau diffèrent d'une région à l'autre. Le tableau 2 énumère les impacts potentiels les plus importants.

TABLEAU 2 : Impacts potentiels du changement climatique sur les ressources en eau (tiré de la figure 15-1 dans la référence 4)

Région	Variations potentielles	Implications
Yukon et régions côtières de la Colombie-Britannique	• Accroissement des risques d'inondations printanières (C.-B.), impacts sur le débit des cours d'eau en raison du recul et de la disparition des glaciers	• Potentiel hydroélectrique réduit, impacts écologiques (y compris sur les pêches), dommages aux infrastructures, répartition des ressources en eau
Rocheuses	• Remontée de la ligne des neiges l'hiver et le printemps, augmentation possible des apports neigeux, fréquence accrue des épisodes de pluie sur neige	• Accroissement des risques d'inondations et d'avalanches
	• Diminution des débits estivaux des cours d'eau et autres variations des régimes d'écoulement saisonniers	• Impacts écologiques, impacts sur le tourisme et les loisirs
Prairies	• Variations des débits annuels des cours d'eau, possibilité de baisse sensible des débits estivaux	• Conséquences pour l'agriculture, la production hydroélectrique, les écosystèmes et la répartition des ressources en eau
	• Accroissement des risques de sécheresses sévères, accroissement de l'aridité dans les zones semi-arides	• Pertes de production agricole, changements de vocation des terres
	• Augmentation ou diminution des besoins en irrigation et des disponibilités en eau	• Impacts incertains sur les revenus agricoles, les eaux souterraines, les débits et la qualité de l'eau
Bassin des Grands Lacs	• Accroissement possible des précipitations et de l'évaporation, d'où une réduction du ruissellement et un abaissement du niveau des lacs	• Impacts sur la production hydroélectrique, l'infrastructure riveraine et côtière, le transport maritime et les loisirs
	• Diminution de la couverture glacielle des lacs, et absence de glace certaines années	• Impacts écologiques, accroissement des pertes d'eau par évaporation et impacts sur la navigation
Atlantique	• Réduction du volume et de la durée de la couverture nivale	• Réduction de l'ampleur des crues printanières et abaissement du niveau des crues estivales
	• Variations de l'amplitude et de la période du gel et de la débâcle	• Conséquences pour les inondations printanières et l'érosion côtière
	• Possibilité de réduction considérable des débits des cours d'eau	• Impacts écologiques, problèmes de répartition des ressources en eau, potentiel hydroélectrique
	• Intrusion saline dans les aquifères côtiers	• Perte d'eau potable et accroissement des conflits entre les utilisateurs de l'eau
Régions arctiques et subarctiques	• Amincissement de la couverture glacielle, prolongement de un à trois mois de la saison d'eau libre, accroissement de l'étendue des eaux libres	• Impacts écologiques, impacts sur les modes de vie traditionnels, amélioration de la navigation, modification des réseaux routiers viables
	• Variabilité accrue du niveau des lacs, assèchement complet de certains lacs deltaïques	• Impacts sur les écosystèmes et les collectivités

Ce tableau fait clairement ressortir que les impacts des événements extrêmes, les variations saisonnières des régimes d'écoulement et la réduction de la couverture glacielle hivernale posent des problèmes majeurs dans plusieurs régions du Canada.

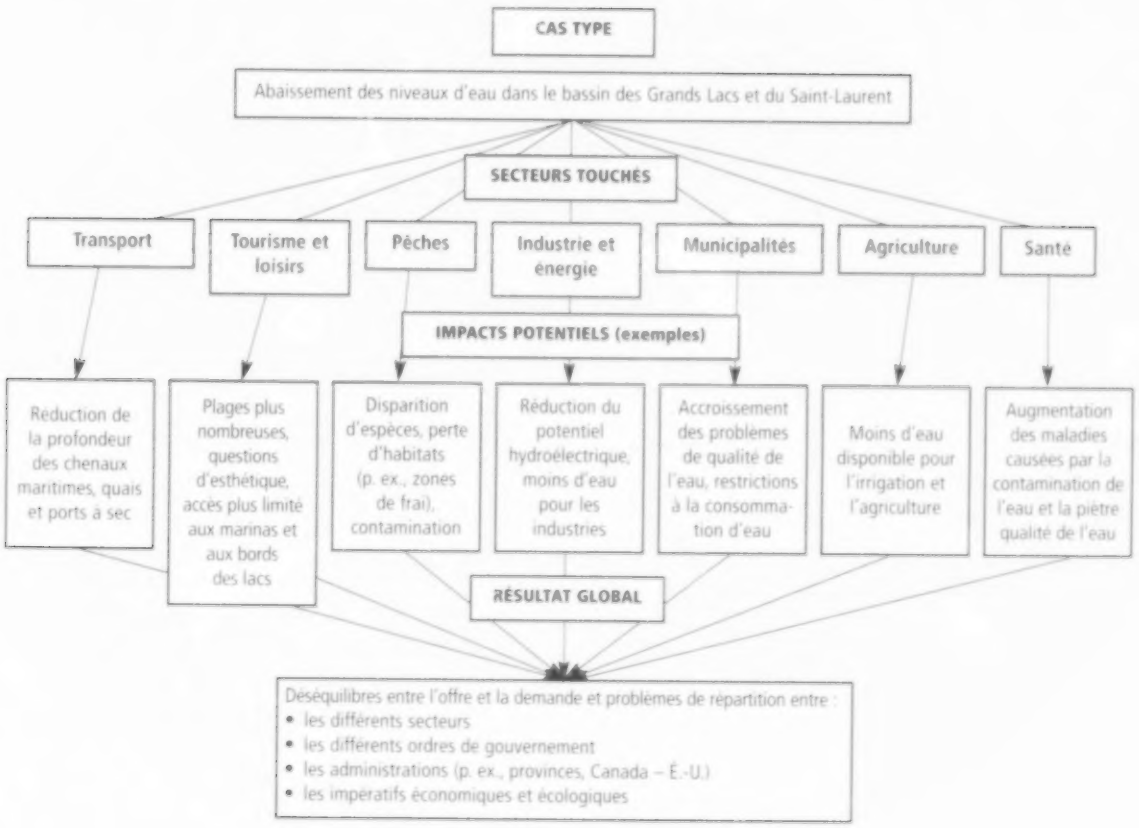
Dans le présent chapitre, nous examinons l'état de la recherche sur ces questions et sur d'autres, ainsi que les progrès récents de la recherche sur l'adaptation. Nous nous intéressons plus particulièrement aux effets du changement climatique sur l'offre et la demande d'eau ainsi qu'aux solutions qui s'offrent à nous pour faciliter l'adaptation à ces impacts. Plusieurs autres aspects des ressources en eau, qui concernent notamment les secteurs du transport, de la santé et des pêches, sont abordés dans d'autres chapitres du présent rapport. Bien que les prévisions des impacts soient entachées de beaucoup d'incertitude, cela ne devrait pas nous empêcher de prendre des mesures pour réduire notre vulnérabilité face au changement climatique. En connaissant bien tout l'éventail des impacts possibles ainsi que le rôle complexe de la réponse sociétale au changement climatique, nous serons mieux armés pour atténuer les pertes et saisir les possibilités avantageuses qui se présenteront à nous.

Travaux antérieurs

« *La sensibilité d'un système de ressources en eau au changement climatique dépend de plusieurs éléments physiques et, de façon importante, de caractéristiques sociétales.* »[5]

De nombreux rapports et ateliers auxquels ont participé des chercheurs et d'autres intervenants ont fait ressortir l'urgence de la question de l'eau dans la lutte contre le changement climatique au Canada. L'importance de l'eau tient essentiellement à deux facteurs : d'abord, les ressources en eau sont sensibles au climat et, ensuite,

FIGURE 1 : Les ressources en eau : un dossier multisectoriel



les questions relatives à l'eau ont un caractère multisectoriel dans la mesure où les initiatives d'adaptation qui seront prises dans un secteur donné auront des conséquences importantes dans plusieurs autres secteurs. La figure 1 illustre certains problèmes liés à l'abaissement des niveaux d'eau dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent, ainsi que leurs effets sur différents secteurs, par exemple le transport, les pêches, l'agriculture et la santé humaine.

Dans leur exposé de l'état de la recherche présenté dans le cadre de l'Étude pancanadienne, Hofmann *et al.*[30] affirment que le changement climatique aura une foule d'impacts sur le cycle hydrologique et les utilisations de l'eau. À l'échelle nationale, les précipitations, l'évaporation, les températures de l'eau et la variabilité hydrologique vont probablement augmenter, et ces changements conjugueront leurs effets pour affecter la qualité de l'eau. À l'échelle régionale, on prévoit un abaissement des niveaux d'eau dans le réseau des Grands Lacs, une diminution de l'humidité du sol dans le sud du Canada et une réduction de la superficie des terres humides dans les Prairies. On craint également une multiplication des conflits entre les utilisateurs de l'eau, en raison d'un déséquilibre accru entre l'offre et la demande.

La littérature publiée à ce jour propose diverses méthodes d'adaptation dans le secteur des ressources en eau, notamment une modification des infrastructures, un rajustement des modes de gestion et l'élaboration de nouvelles politiques en matière d'eau.[30] Les incertitudes entourant les projections des impacts du changement climatique ont conduit plusieurs auteurs à préconiser l'application de mesures « sans regret », ainsi appelées parce que, même en l'absence de changement climatique, elles apporteraient des avantages aux Canadiens, car elles s'attaqueraient à d'autres problèmes environnementaux. Il est absolument essentiel de mobiliser tous les intervenants, y compris le grand public, pour élaborer des stratégies d'adaptation efficaces. La littérature livre un message encore plus important peut-être, à savoir qu'il faut encourager les gestionnaires de l'eau à tenir compte des impacts du changement climatique dans leurs activités de planification à long terme.

Une bonne partie de la recherche concernant les ressources en eau et le changement climatique a porté sur les aspects physiques de la question, en particulier sur les impacts hydrologiques,[31] au détriment des aspects économiques et sociaux. Ce déséquilibre et les lacunes qui en découlent sur le plan des connaissances sont constatés dans la littérature ainsi que dans les rapports et les actes d'un grand nombre de conférences et d'ateliers qui se sont intéressés aux impacts du changement climatique et aux stratégies d'adaptation au Canada.

Impacts sur l'approvisionnement en eau

Quantité d'eau douce

Les effets du changement climatique sur les régimes d'écoulement et les niveaux d'eau se répercuteront sur nos approvisionnements en eau. La diminution des approvisionnements en eau de surface et en eau souterraine ainsi que l'augmentation de la demande de ces ressources remettraient en question tous les aspects de la gestion des ressources en eau.

Il est difficile de prévoir les variations de la disponibilité de l'eau douce. Si les chercheurs sont convaincus que la hausse des températures influera sur des variables comme l'évaporation et la couverture nivale, les incertitudes qui subsistent quant à la nature des variations régionales des régimes de précipitations et la complexité des écosystèmes naturels limitent notre capacité de prévoir les changements hydrologiques à l'échelle des bassins versants. Il est néanmoins permis de penser que, dans de nombreuses régions du Canada, le changement climatique se traduira vraisemblablement par une diminution des débits pendant la période estivale, une élévation des températures de l'eau durant l'été et une augmentation des débits durant l'hiver. Cette projection est particulièrement vraie pour les réseaux alimentés principalement par la fonte des neiges qui existent dans la majeure partie du pays.[34]

Parmi les régions du Canada où le changement climatique risque d'avoir le plus d'impact sur les ressources en eau, certaines sont déjà menacées par une demande qui dépasse l'offre ou qui s'en approche dangereusement. La menace est particulièrement réelle dans les régions les plus sèches du sud des Prairies, communément appelées triangle de Palliser, qui sont affligées périodiquement par la sécheresse et par de lourds déficits d'humidité dans le sol.[35] Même l'Ontario, pourtant considérée comme une province

particulièrement bien pourvue en eau, est fréquemment aux prises avec des pénuries d'eau douce.[9] En Colombie-Britannique, plus de 17 p. 100 des ressources en eau de surface suffisent à peine à satisfaire les besoins des utilisations extractives.[10]

Dans une bonne partie de l'Ouest canadien, les eaux de fonte nivales et glaciaires en provenance des régions montagneuses constituent des sources d'approvisionnement majeures pour les régions situées en aval. Sous l'effet d'un réchauffement des températures, la capacité de stockage saisonnier et à long terme des régions alpines pourrait diminuer en raison de l'amincissement du manteau neigeux, de l'accélération du ruissellement printanier et de la diminution de la couverture nivale et glacielle.[11] Ces variations se traduiraient par une réduction des débits des cours d'eau durant l'été et, du même coup, accentueraient les pénuries d'eau pendant la période de demande de pointe. Les tendances récentes observées sur les versants orientaux des Rocheuses canadiennes donnent à penser que l'amincissement des glaciers a déjà commencé à avoir des effets sur les débits d'eau en aval (*voir* l'encadré 1). Dans tout le sud du Canada, les débits annuels moyens ont diminué sensiblement dans les 30 à 50 dernières années, les réductions les plus importantes ayant été observées en août et en septembre.[12] On prévoit que cette tendance se poursuivra sous l'effet du changement climatique.

L'impact du changement climatique sur les ressources en eau dans le bassin des Grands Lacs est également très préoccupant. Plus de 40 millions de personnes vivent dans cette région, et la plupart puisent dans les Lacs l'eau dont elles ont besoin.[14] Or, selon de nombreuses études, le changement climatique entraînera un abaissement des niveaux d'eau dans les Grands Lacs, ce qui aura des conséquences pour l'approvisionnement en eau municipale, la navigation, la production d'hydroélectricité, les loisirs et les écosystèmes naturels.

De façon générale, on s'attend à une diminution des débits durant l'été, mais de nombreux chercheurs prévoient une augmentation correspondante des débits durant l'hiver, car un adoucissement des températures hivernales augmenterait la fréquence des dégels et des épisodes de pluie sur neige en plein hiver, tendance qui s'observe déjà dans le cours supérieur de la rivière Saint-Jean.[15] Les débits élevés et les embâcles qui en résulteraient augmenteraient le risque d'inondations hivernales dans plusieurs régions.[16] Ainsi, sur la rivière Grand, dans le sud de l'Ontario, les chercheurs prévoient que la hausse des températures et l'accroissement des précipitations augmenteront le risque d'inondations majeures en janvier et en février.[17] Toutefois, étant donné qu'il s'accumulera moins de neige en raison de la fréquence des épisodes de fonte hivernale, l'amplitude des crues printanières diminuera probablement. Une tendance semblable est prévue pour les cours d'eau alimentés par la fonte des neiges dans une bonne partie du sud du Canada.

Le changement climatique affecte non seulement la quantité d'eau de surface, mais aussi la quantité d'eau

ENCADRÉ 1 : Diminution des débits dans les cours d'eau des Prairies[13]

L'eau de fonte glaciaire est une des principales sources d'alimentation des cours d'eau dans l'ouest et le nord du Canada. Le long des versants orientaux des Rocheuses canadiennes, la couverture glaciaire a décru rapidement au cours des dernières années, et elle n'est plus très loin du minimum enregistré depuis 10 000 ans. Le ruissellement en aval a diminué en conséquence.

Cette constatation semble contredire les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) selon lesquelles un réchauffement du climat augmentera à court terme les apports glaciaires dans les régimes d'écoulement en aval. Or, les données historiques sur les débits des cours d'eau montrent que cette phase d'accroissement du ruissellement est déjà chose du passé; ce qui pourrait être une tendance à long terme à la réduction des débits a commencé à se manifester dans les bassins. La poursuite de cette tendance accentuerait les pénuries d'eau qui s'observent déjà dans plusieurs régions de l'Alberta et de la Saskatchewan en raison de la sécheresse.

Photo : Gracieuseté de Mike Demuth.

Glacier Peyto

souterraine. Chaque région du Canada dépend jusqu'à un certain point de l'eau souterraine. Par exemple, la population entière de l'Île-du-Prince-Édouard tire son eau potable des aquifères, tandis que 90 p. 100 de la population rurale de l'Ontario, du Manitoba et de la Saskatchewan est tributaire des ressources en eau souterraine.[18, 19] Malgré l'importance de ces ressources, on ignore pratiquement les taux d'alimentation des nappes, on connaît mal la dynamique des eaux souterraines[20] et la recherche sur les impacts du changement climatique demeure limitée.[6]

La sensibilité des eaux souterraines au changement climatique dépend également de leur profondeur et de leur nature. En général, les nappes libres et peu profondes seront les plus touchées; comme le montre clairement la variabilité historique, les puits peu profonds de plusieurs régions du Canada s'assèchent en période de sécheresse. Or, dans bien des cas, ces aquifères renferment une eau de très grande qualité et constituent une source d'approvisionnement essentielle pour la consommation humaine et l'abreuvement du bétail. Les aquifères profonds sont moins exposés aux impacts directs du changement climatique, mais ils risquent de faire l'objet d'une exploitation massive si les puits peu profonds venaient à s'assécher; or, leur alimentation se fait lentement et ils peuvent prendre plusieurs dizaines d'années à se renouveler.[20]

Certains facteurs locaux, comme la perméabilité du matériau (p. ex., sol, roche) sus-jacent et la période des précipitations, ont une forte influence sur le taux d'alimentation des aquifères et, par conséquent, sur leur sensibilité au changement climatique.[18] On croit qu'une augmentation des précipitations hivernales contribuerait davantage à maintenir le niveau de l'eau souterraine qu'un accroissement des précipitations estivales. En effet, les eaux de fonte nivale alimentent généralement les aquifères, alors que l'eau de pluie se perd en majeure partie par évapotranspiration.[20]

Qualité de l'eau douce

Les impacts projetés du changement climatique affecteraient la qualité de l'eau. Les disponibilités en eau potable s'en trouveraient diminuées, et les coûts d'épuration augmenteraient en conséquence.

Les variations de la quantité d'eau et les variations de la qualité de l'eau sont inextricablement liées. Un abaissement des niveaux d'eau a tendance à accroître les concentrations de polluants; l'augmentation des débits et de la fréquence des inondations accentue la turbidité de l'eau et le rejet de contaminants dans le réseau hydrographique. L'encadré 2 renferme une liste des principaux problèmes de qualité de l'eau qui se posent dans différentes régions du pays.

L'élévation des températures atmosphériques entrainerait une hausse des températures de l'eau de surface, un raccourcissement de la durée de la couverture glacielle et, dans certains cas, un abaissement des niveaux d'eau.

ENCADRÉ 2 : Principaux problèmes de qualité de l'eau au Canada[21]

Région	Problème appréhendé
Atlantique	• Intrusion d'eau salée dans les aquifères • Effets d'une augmentation des inondations sur la santé
Québec	• Remontée de la limite de l'eau salée dans le golfe du Saint-Laurent • Effets d'une augmentation des inondations et des débordements d'égout sur la santé
Ontario	• Dégradation de l'habitat fluvial • Effets sur la santé • Volatilisation de produits chimiques toxiques
Prairies	• Problèmes de goût et d'odeur de l'eau dans les systèmes d'alimentation municipaux • Détérioration de l'habitat fluvial
Colombie-Britannique	• Intrusion d'eau salée due à l'élévation du niveau marin et augmentation de la demande d'eau • Effets d'une augmentation des inondations sur la santé • Accroissement de la turbidité de l'eau causé par l'augmentation des glissements de terrain et de l'érosion de la surface
Arctique et Nord	• Rupture de canalisations d'eau potable et d'égout causée par la dégradation du pergélisol • Rupture de fosses septiques causée par la dégradation du pergélisol et infiltrations provenant des lagunes de décantation des eaux usées • Accroissement de la turbidité et des concentrations de sédiments dans l'eau potable

Ces changements pourraient contribuer à réduire les concentrations d'oxygène dissous, à accroître les concentrations de nutriants comme le phosphore et à donner à l'eau un goût et une odeur désagréables pendant la saison chaude (p. ex., références 22 et 23).

On s'attend à ce que les débits des cours d'eau deviennent plus variables, avec une augmentation de la fréquence des crues soudaines et une réduction des débits minimaux. On sait maintenant que ces deux types d'extrêmes hydrologiques ont un effet dommageable sur la qualité de l'eau. En période de faibles débits, il n'est pas rare d'observer une hausse des concentrations de toxines, de contaminants bactériens et d'algues nuisibles. Par exemple, quand les débits diminuaient dans le Saint-Laurent et la rivière des Outaouais, des odeurs nocives se dégageaient en raison de la prolifération d'un type particulier de phytoplancton.[24] Par ailleurs, une forte augmentation des débits accentue l'érosion et le lavage chimique des sols, alors que des précipitations intenses augmentent le risque que des nutriants et des déchets urbains et animaux s'infiltrent dans des réseaux d'alimentation en eau.[25]

Le changement climatique pourrait également dégrader la qualité de l'eau souterraine. Par exemple, une réduction des taux d'alimentation des aquifères et du ruissellement des eaux souterraines risquerait d'augmenter les concentrations de contaminants dans l'eau souterraine. L'intrusion d'eau salée dans les aquifères des régions côtières est un autre sujet de préoccupation, bien qu'il se fasse relativement peu de recherche dans ce domaine au Canada.[26] Dans le sud du Manitoba, les variations des précipitations et des températures pourraient faire baisser les niveaux d'eau dans certaines parties du bassin de la rivière Rouge plus vite que dans d'autres.[27] Ces changements affecteraient le ruissellement souterrain et pourraient même aller jusqu'à déplacer la limite entre l'eau douce et l'eau salée sous la vallée de la rivière Rouge, rendant l'eau souterraine impropre à la consommation dans certains secteurs.[27]

Impacts écologiques

« L'eau est également un facteur limitatif et un déterminant critique de l'existence et de la distribution de nos écosystèmes naturels. »[28]

Les terres humides, qui sont des déterminants naturels de la qualité de l'eau, se caractérisent par une forte sensibilité au changement climatique.[29] L'eau qui circule dans une terre humide y libère souvent des contaminants comme des métaux, des nutriants et des sulfates. Par contre, un abaissement de la nappe phréatique diminue les propriétés assimilatrices et purificatrices des terres humides. Des conditions plus sèches sont également associées à des impulsions acides (pouvant causer des mortalités massives de poissons) et à la formation de méthylmercure hautement toxique.[29, 30] Dans les Prairies, les terres humides (marécages) revêtent une énorme importance sur le plan hydrologique et fournissent un habitat vital aux oiseaux et aux espèces aquatiques. Leur persistance dépend d'une interaction complexe du climat, de la géologie et de l'utilisation des terres, et leur étendue est déterminée par l'équilibre entre les pertes et les apports d'eau.[31] De toutes les manifestations du changement climatique, ce sont les variations des apports neigeux qui auraient le plus d'impact sur la couverture des terres humides des Prairies; l'effet des variations de l'évaporation serait moindre.[31] Les terres humides côtières des Grands Lacs ressentiront probablement les effets de la baisse des niveaux d'eau et des changements qui surviendront dans les régimes d'écoulement des eaux de surface et des eaux souterraines.[32]

Les écosystèmes fluviaux sont également des composantes importantes du paysage canadien. Leur sensibilité au changement climatique est influencée par les attributs du cours d'eau, notamment sa situation géographique. Les rivières du nord peuvent être affectées par la dégradation du pergélisol et les variations des régimes d'inondation.[33] Les inondations causées par les embâcles constituent un facteur important dans la dynamique du delta de Peace-Athabasca, dans le nord de l'Alberta, en particulier pour le rajeunissement des écosystèmes riverains. Une réduction des inondations causées par les embâcles sous l'effet du changement climatique aurait un impact considérable sur cette région écologiquement fragile.[34] Dans le sud du Canada, les variations saisonnières des régimes d'écoulement des cours d'eau pourraient avoir des impacts écologiques majeurs et entraîner notamment la perte d'habitats, l'extinction de certaines espèces et une aggravation de la contamination de l'eau. Les bassins hydrographiques renfermant de grands lacs ou glaciers sont généralement moins sensibles aux variations du climat, du moins à court terme, car ces entités géographiques agissent comme tampons.

Les forêts couvrent près de la moitié de la masse continentale du Canada et sont des régulateurs importants du cycle hydrologique. Les variations de l'étendue et de la distribution des forêts, sous l'effet du changement climatique ou d'autres facteurs, affectent le stockage et l'écoulement de l'eau. Une augmentation des perturbations forestières telles que les feux de forêt et les insectes défoliateurs ferait perdre à la forêt une partie de sa capacité de stockage et de filtration de l'eau. La question des impacts du changement climatique sur les écosystèmes forestiers est examinée plus en détail dans le chapitre intitulé « La foresterie ».

Demande d'eau

« Les conséquences du changement climatique pour les ressources en eau dépendent non seulement des variations possibles du capital ressources (offre)..., mais aussi des variations de la consommation d'eau chez les humains et dans l'environnement (demande). »[5]

La demande d'eau sera déterminée par de nombreux facteurs, notamment la croissance, la richesse et la répartition de la population. On estime que, dans le monde, entre un demi-milliard et presque deux milliards de personnes souffrent de stress hydrique (manque d'eau important), et on prévoit que ce nombre augmentera considérablement d'ici 2025, surtout à cause de la croissance démographique et de l'augmentation de la richesse.[35] Les conditions plus chaudes et plus sèches imposées par le changement climatique accentueraient la demande d'eau dans de nombreuses régions.

L'accroissement de l'aridité que le changement climatique entraînera dans certaines régions aura un effet direct sur la demande d'eau pour des usages agricoles et domestiques. Par exemple, la consommation d'eau pour des usages extérieurs (p. ex., le jardinage et l'arrosage des pelouses) et la demande d'eau potable ont tendance à augmenter par temps chaud et sec. Dans certains cas, des changements technologiques et une stratégie de gestion appropriée peuvent accroître suffisamment l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour absorber l'augmentation de la demande. Il sera également important d'adopter des stratégies de gestion de nature à réduire la demande d'eau. Le réchauffement des eaux de surface aurait un impact direct sur les opérations industrielles, car le rendement des systèmes de refroidissement s'en trouvera diminué, d'où une perte de production industrielle.[36]

Les ressources en eau sont également très sollicitées par les centrales hydroélectriques, qui produisent environ les deux tiers de l'électricité dont le Canada a besoin.[2] Selon certaines études, le potentiel hydroélectrique augmentera probablement dans les régions nordiques et diminuera au sud, en raison des variations projetées du ruissellement.[37] Par exemple, on croit que l'abaissement des niveaux d'eau entraînera une réduction de la production hydroélectrique dans le bassin des Grands Lacs.[13] Par contre, un accroissement des débits annuels ne se traduira pas toujours par une hausse du volume d'hydroélectricité. Les tempêtes, les inondations et les concentrations de sédiments sont autant de facteurs susceptibles de compromettre la production d'énergie. Dans l'ouest du Canada, les variations des régimes de précipitations ainsi que la réduction de la couverture glaciaire en terrain montagneux affecteront le ruissellement estival et la production d'hydroélectricité en aval. De plus, la modification des régimes glaciels des cours d'eau équipés d'ouvrages de régularisation sera tantôt bénéfique pour l'industrie hydroélectrique, dans la mesure où la saison des glaces sera raccourcie, tantôt problématique en raison de l'augmentation de la fréquence des débâcles au milieu de l'hiver.[36]

Le caractère saisonnier des variations projetées de l'offre et de la demande d'eau constitue un autre facteur important. Par exemple, durant les mois d'été, la réduction des débits diminuera le potentiel de production hydroélectrique et, avec l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, les gens feront un usage accru des appareils de climatisation et la consommation d'électricité augmentera en conséquence. La demande d'énergie hydroélectrique à l'exportation augmenterait vraisemblablement durant l'été, en raison de l'accroissement des besoins en climatisation.

La hausse de la demande dans tous ces secteurs d'activité accentuerait les conflits entre les diverses utilisations de l'eau, ce qui comprend les apports d'eau nécessaires pour préserver la durabilité des écosystèmes. On pourrait devoir trouver des moyens d'utiliser l'eau de manière plus efficace, afin de prévenir l'extinction de certaines espèces aquatiques et la dégradation des terres humides, des cours d'eau, des deltas et des estuaires.[38]

Adaptation

« Les gestionnaires de l'eau commencent à envisager des mesures d'adaptation au changement climatique... [cependant], pour beaucoup d'entre eux, l'ampleur à donner aux mesures d'adaptation est encore incertaine. »[5]

Plusieurs études font ressortir chez les gestionnaires une tendance générale à sous-estimer les impacts du changement climatique.[39, 40] Dans un sondage réalisé auprès des organisations américaines qui s'intéressent aux ressources en eau, aucun groupe n'a exprimé l'intention de faire quoi que ce soit au sujet du changement climatique, et tous ont qualifié de faible l'attention qu'ils portaient au changement climatique.[40] Peut-être les gestionnaires croient-ils que les outils actuellement utilisés pour gérer le risque et l'incertitude seront suffisants pour contrer la variabilité engendrée par le changement climatique. Un autre facteur important pourrait être l'absence de normes incitant les décideurs à tenir compte du changement climatique dans la conception des installations. Le fait que les gestionnaires se contentent de réagir aux problèmes, plutôt que de les prévenir, pourrait également jouer un rôle.

ENCADRÉ 3 : Options d'adaptation communément recommandées[21]

Voici les options d'adaptation le plus souvent recommandées pour le secteur des ressources en eau :

- prendre des mesures d'économie d'eau;
- améliorer les stratégies de planification et de préparation en vue des sécheresses et des inondations sévères;
- mieux protéger la qualité de l'eau contre les déchets culturels, industriels et humains;
- accentuer la surveillance;
- améliorer la procédure pour répartir équitablement les ressources en eau.

Chacune de ces solutions serait considérée comme une mesure sans regret, qui apporterait de toute façon des avantages aux Canadiens, peu importe les impacts du changement climatique.

Il y a cependant des exceptions à ces tendances générales. Ainsi, dans le bassin de la rivière Grand, dans le sud-ouest de l'Ontario, les gestionnaires de l'eau ont commencé à établir des plans d'intervention d'urgence en prévision des épisodes de sécheresse[41] et ont tenu une série d'ateliers afin d'évaluer les méthodes d'analyse et de prise de décisions pour composer avec l'abaissement des niveaux d'eau du lac Érié sous l'effet du changement climatique.[42] Ces initiatives contredisent l'opinion souvent exprimée selon laquelle les gestionnaires de l'eau feront peu de cas du changement climatique tant et aussi longtemps qu'ils ne disposeront pas d'une meilleure information concernant la période et la nature des changements projetés. Les chercheurs soulignent que l'incertitude scientifique qui entoure le changement climatique n'est pas très différente des autres sources d'incertitude dont les gestionnaires de l'eau ont appris à tenir compte, comme la croissance de la population et l'activité économique.[43] Aussi l'incertitude ne devrait-elle pas les empêcher d'intégrer le facteur du changement climatique dans leur stratégie de gestion des risques.

Adaptation des infrastructures

Quand on envisage des solutions d'adaptation des infrastructures, il faut se demander si le réseau sera capable de soutenir les variations hydrologiques projetées, en plus de s'interroger sur les coûts économiques, sociaux et écologiques des mesures d'adaptation.

Les ouvrages tels que barrages et canaux de drainage constituent depuis toujours des moyens d'adaptation importants pour la gestion de l'eau au Canada. Toutefois, les opinions divergent sur le bien-fondé de la construction de nouvelles structures pour faciliter l'adaptation au changement climatique. Comme les coûts environnementaux, économiques et sociaux sont considérables, un grand nombre d'experts sont d'avis que la construction d'une infrastructure à grande échelle devrait être évitée, ou du moins retardée jusqu'à ce que l'on ait une meilleure idée de l'ampleur des variations hydrologiques qui se produiront. Par ailleurs, on sait que les ouvrages de régularisation augmentent la souplesse des opérations de gestion et augmentent la capacité d'un réseau d'absorber les effets de la variabilité hydrologique.[5] Dans la rivière de la Paix, par exemple, la régularisation des cours d'eau permettra

aux exploitants de compenser les effets du changement climatique sur les dates de gel en réduisant les relâchements en hiver.[44] Dans le même ordre d'idées, les collectivités du sud des Prairies pourraient se doter d'une infrastructure à petite échelle leur permettant de se servir de la neige pour augmenter leurs stocks d'eau en prévision des périodes de sécheresse.[45]

La plupart des plans de gestion et des ouvrages d'alimentation et de drainage actuellement utilisés ont été établis en fonction des données climatiques et hydrologiques historiques, et tiennent pour acquis que le passé est garant de l'avenir. Ces systèmes devraient pouvoir résister à la plupart des variations des conditions moyennes qui se produiront à cause du changement climatique dans les 20 prochaines années, mais une augmentation de la variabilité climatique et de la fréquence des événements extrêmes causerait vraisemblablement des problèmes de gestion. Selon des études de cas réalisées en Ontario, un accroissement de l'intensité des précipitations risque d'augmenter les coûts de l'infrastructure de drainage et de compromettre l'efficacité des systèmes en place (*voir* l'encadré 4).

Selon plusieurs études, la conception des systèmes de gestion de l'eau devrait être basée sur des seuils – par exemple, le seuil de dépassement de la capacité de stockage d'un réservoir – , plutôt que sur des conditions moyennes (p. ex., références 47 et 48). Les seuils peuvent induire des réponses non linéaires et, par conséquent, moins prévisibles au changement climatique, qui mettraient à rude épreuve la capacité d'adaptation des systèmes de gestion de l'eau.[49]

Dans bien des cas, il sera préférable de modifier les ouvrages en place, plutôt que de construire de nouvelles structures pour s'adapter aux changements.[50] Par exemple, les modèles indiquent que, dans tous les scénarios de changement climatique, sauf les plus extrêmes, une modification des méthodes d'exploitation et une augmentation de la capacité de stockage des réservoirs suffiront dans le bassin de la rivière Grand.[50] D'après une étude de l'infrastructure de drainage de North Vancouver, il est possible d'adapter le réseau en prévision de précipitations plus intenses, en profitant des travaux de maintenance réguliers pour augmenter petit à petit la capacité des principaux tronçons de canalisation.[51] Des mesures d'adaptation comme celle-là peuvent être intégrées dans les plans de gestion de l'eau à long terme.

ENCADRÉ 4 : Vulnérabilité de l'infrastructure actuelle[46]

La plupart des systèmes de drainage urbains sont conçus en fonction des données climatiques historiques et risquent de flancher advenant une variation des régimes de précipitations. On croit en effet que des précipitations plus intenses seraient difficilement évacuées par les canaux de drainage, les égouts et les buses actuellement en place et augmenteraient les coûts des infrastructures de drainage. Il est vrai que les changements (p. ex., augmenter le diamètre des conduites) seront coûteux, mais on pense que la facture globale sera inférieure au coût des pertes qui résulteraient de l'absence de mesures d'adaptation. Par exemple, un sous-dimensionnement des canalisations entraînerait une augmentation des refoulements d'égout, des inondations de sous-sol et des problèmes de santé connexes.

Adaptations et considérations institutionnelles

« La capacité d'adaptation à la variabilité du climat et au changement climatique dépend d'une foule de facteurs institutionnels, technologiques et culturels qui jouent à l'échelle internationale, nationale et locale, ainsi que des caractéristiques spécifiques des changements qui se produisent. »[53]

La gestion de la demande consiste à réduire les besoins par des mesures qui incitent à économiser l'eau et à l'utiliser avec plus d'efficacité. On la considère comme un moyen d'adaptation efficace et durable sur le plan environnemental et économique. C'est pourquoi les municipalités sont de plus en plus nombreuses à instituer des programmes de conservation et de tarification de l'eau. Dans le bassin de la rivière Grand, par exemple, les municipalités ont commencé à établir des programmes destinés à rendre plus efficaces l'utilisation, le stockage et la distribution de l'eau. Par ailleurs, de nombreuses administrations municipales sont impuissantes à adopter des programmes de gestion de la demande, faute de moyens législatifs ou institutionnels.[41]

Le fait que le public ne soit pas sensibilisé à la nécessité d'économiser cette ressource précieuse et d'éviter les gaspillages constitue un autre obstacle. L'encadré 5 décrit d'autres facteurs qui influent sur la capacité d'adaptation des collectivités.

ENCADRÉ 5 : Facteurs qui influent sur la capacité d'adaptation des collectivités[52]

Les auteurs d'une étude du bassin versant de la partie supérieure de la rivière Credit, dans le sud de l'Ontario, ont reconnu un certain nombre de facteurs importants de la capacité d'adaptation d'une collectivité au changement climatique :

- la façon dont les problèmes sont perçus et appréciés par les intéressés;
- le niveau et la qualité de la communication et de la coordination entre les intéressés et les gestionnaires de l'eau;
- le degré de participation du public aux décisions concernant la gestion de l'eau et à la mise en œuvre des mesures d'adaptation;
- la qualité et l'accessibilité des ressources (p. ex., ressources financières suffisantes, personnel ayant reçu la formation adéquate et accès à des données de grande qualité);
- le profil socio-économique de la collectivité (des collectivités plus riches peuvent investir davantage dans l'adaptation).

Certains de ces facteurs mériteraient d'être accentués, notamment par des séances d'information publique et par un réseautage accru. D'autres, par contre, comme le profil socio-économique de la collectivité, peuvent constituer des obstacles importants à l'adaptation.

Les programmes municipaux d'économie d'eau peuvent s'avérer extrêmement efficaces pour réduire la consommation d'eau et limiter les impacts du changement climatique sur les approvisionnements régionaux.[53] Soixante-trois des 65 municipalités recensées dans une étude avaient déjà lancé des programmes pour économiser l'eau.[54] Dans une autre étude réalisée en Ontario, la plupart des propriétaires ruraux auxquels on a parlé pratiquaient la conservation de l'eau sous une forme ou sous une autre, par exemple en réduisant la durée des douches et en tâchant d'éliminer les gaspillages au foyer.[55] Parmi les facteurs qui incitent les gens à adopter des méthodes de conservation figurent la sensibilisation et la participation aux programmes, le degré de scolarité et l'appréhension des pénuries d'eau. À l'île Pender Nord, en Colombie-Britannique, la collectivité a trouvé une solution très efficace aux problèmes de gestion de l'eau.[56] Dans l'île, la gestion de l'eau est la responsabilité de cinq représentants élus chargés de surveiller l'application de la loi sur l'utilisation de l'eau; celle-ci précise les volumes alloués par ménage et définit les utilisations acceptables et inacceptables des stocks d'eau de la collectivité. Les contrevenants reçoivent d'abord un avertissement et, en cas de récidive, s'exposent à se faire débrancher du réseau d'aqueduc municipal.

Pour être en mesure d'implanter des solutions d'adaptation efficaces, la collectivité doit être pourvue des pouvoirs institutionnels nécessaires. Au Canada, il est parfois difficile de mettre en place des mesures d'adaptation, simplement parce que les activités de gestion de l'eau sont administrées par plusieurs ordres de gouvernement. Même au sein d'une même administration publique, il n'est pas rare que plusieurs organismes interviennent dans la réglementation de l'eau.[46] Pour se doter d'une bonne capacité d'adaptation, il faut d'abord clarifier les rôles et les responsabilités de chaque organisme[52] et développer des mécanismes favorisant la collaboration inter-organisme (p. ex., l'Approche coopérative en matière d'eau souterraine au Canada). Il faut aussi que les organismes de gestion de l'eau aient la volonté d'aider les collectivités à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation. La façon dont les collectivités perçoivent les différentes options d'adaptation est également importante (*voir* l'encadré 6).

Si les changements d'ordre institutionnel revêtent une grande importance pour l'adaptation et la gestion des ressources en eau, il faut reconnaître, par contre, que la législation peut également élever des obstacles. Par exemple, le Traité du Niagara pourrait empêcher les producteurs d'électricité de s'adapter à la réduction des débits, étant donné qu'il répartit les ressources en eau pour à la fois répondre aux besoins des centrales hydroélectriques et préserver le décor naturel des chutes.[43] Autre exemple : le Traité des eaux limitrophes internationales de 1909, qui détermine la priorité

ENCADRÉ 6 : Perception des options d'adaptation[56]

Des groupes témoins de la vallée de l'Okanagan interrogés au sujet des options d'adaptation ont exprimé une nette préférence pour les changements aux infrastructures (comme les barrages) et les mesures sociales (comme des permis d'utilisation de l'eau) pour régler le problème des pénuries d'eau. Ils préconisent tout particulièrement des mesures d'adaptation des infrastructures pour prévenir les impacts du changement climatique, comme la construction de barrages et la fabrication de neige. Les groupes témoins ont pu également cerner les implications des différentes solutions d'adaptation (p. ex., les coûts économiques et environnementaux élevés des barrages). Dans l'ensemble, les entrevues ont fait ressortir un vif intérêt des intervenants pour l'adaptation au changement climatique, ainsi que la nécessité de poursuivre le dialogue à ce sujet.

des intérêts dans les Grands Lacs (p. ex., satisfaire en premier lieu les besoins domestiques et sanitaires, ensuite ceux de la navigation, ensuite ceux de la production d'électricité et de l'irrigation) et qui ne reconnaît pas les besoins associés à l'environnement, aux activités récréotouristiques et aux propriétés riveraines.[41] En revanche, l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, signé en 1978, vise expressément à préserver l'intégrité physique, chimique et biologique du bassin des Grands Lacs.[14]

L'économie, les prix et les marchés sont des mécanismes fondamentaux pour équilibrer l'offre et la demande. Il se pourrait que l'on ait davantage recours à des mécanismes de prix pour limiter la demande d'eau, comme c'est le cas dans le bassin de la rivière Grand depuis quelques années.[57] L'augmentation du prix de l'eau aurait pour effet de limiter la consommation, mais il reste encore un grand nombre de questions à résoudre – entre autres, il faut chercher à mieux comprendre les conséquences de la tarification de l'eau au regard des principes de la justice et de l'équité environnementales.[58]

On croit que la diminution des approvisionnements en eau accentuera la concurrence et les conflits entre les utilisateurs et, du même coup, rehaussera la valeur de cette ressource.[41] La résolution de ces problèmes pourra nous obliger parfois à modifier les politiques et les lois en vigueur. Actuellement, la plupart des lois qui régissent les ressources en eau ne tiennent pas compte du changement climatique et résisteront difficilement aux changements projetés. Par exemple, il pourrait devenir nécessaire d'actualiser les ententes sur les eaux transfrontalières en prenant dûment en considération les variations potentielles des régimes d'écoulement et des débits.[59] Le mécanisme des transferts d'eau, qui prend de plus en plus d'importance pour la gestion de l'eau dans certaines parties du monde, engendre souvent de nouveaux problèmes. Ainsi, les transferts d'eau entre deux parties à une entente touchent parfois une tierce partie, comme un utilisateur en aval, qui n'a pourtant rien à voir avec l'entente. Il est donc nécessaire de mettre en place des politiques permettant de tenir compte de l'impact des transferts d'eau sur les tiers.

Dans le bassin des Grands Lacs, la plupart des scénarios de changement climatique laissent prévoir des déséquilibres importants entre l'offre et la demande ainsi que des problèmes de répartition des ressources en eau.[60] Jusqu'à présent, les organismes impliqués dans les conflits d'utilisation de l'eau ont toujours manifesté un esprit de collaboration digne d'éloges, mais il n'existe pas d'approche entièrement uniforme des lois et des politiques en matière d'eau, et les impacts projetés du changement climatique pourraient bien compromettre le climat de bonne entente qui a prévalu jusqu'ici.[60] Il faudra également actualiser les lois internationales si l'on veut prévenir les conflits, car peu d'entre elles tiennent compte des impacts du changement climatique.

Lacunes sur le plan des connaissances et besoins en matière de recherche

Malgré les progrès considérables accomplis depuis cinq ans, il reste encore beaucoup à faire sur le plan de la recherche dans le domaine de l'eau pour combler les besoins potentiels dont il est fait état dans l'Étude pancanadienne. Par exemple, il faut continuer à améliorer la compréhension et la modélisation des processus hydrologiques, de l'échelle locale à l'échelle planétaire, comme le rôle du phénomène ENSO (El Niño – Oscillation australe) dans la variabilité hydrologique. D'un point de vue régional, des études restent à faire dans les provinces de l'Atlantique, dans l'est de l'Arctique et dans la haute montagne, et des études sur les eaux souterraines s'imposent dans presque toutes les régions du pays, comme le signalait une étude de synthèse récente sur les Prairies.[20]

Un des principaux objectifs de la recherche sur les impacts et l'adaptation est de réduire la vulnérabilité face au changement climatique. Dans cette optique, les études doivent se concentrer sur les régions et les systèmes considérés comme les plus vulnérables. Au Canada, le domaine vulnérable englobe les régions actuellement soumises à un stress hydrique, comme les Prairies, l'intérieur de la Colombie-Britannique, le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent et certaines parties de la région de l'Atlantique, de même que les régions où les impacts du changement climatique sur les ressources hydriques peuvent être lourds de conséquences pour les activités actuelles ou planifiées. Dans certains cas, il faudra peut-être commencer par combler des lacunes fondamentales dans les connaissances (comme la pauvreté des données sur l'utilisation des eaux souterraines dans la plupart des régions) avant de chercher à analyser les options d'adaptation.

Voici une liste des besoins recensés dans la littérature récente que nous citons dans le présent chapitre :

Impacts

1) Recherches sur l'interaction des impacts du changement climatique et des autres facteurs de stress, comme les changements dans le mode d'occupation du territoire et la croissance de la population

2) Meilleure compréhension des impacts économiques et sociaux du changement climatique sur les ressources en eau

3) Amélioration de l'accès et de la surveillance des données socio-économiques et hydrologiques

4) Études plus intégrées, qui examinent les contrôles écologiques et l'influence des humains sur la vulnérabilité de l'eau face au changement climatique

5) Études cherchant surtout à comprendre et à déterminer les seuils critiques dans les systèmes des ressources en eau, plutôt qu'à prévoir les impacts des variations des conditions moyennes

6) Recherches sur la vulnérabilité des eaux souterraines face au changement climatique et amélioration de l'observation des eaux souterraines

7) Recherches au sujet des impacts du changement climatique sur les utilisations de l'eau, comme la navigation, les activités récréotouristiques, l'alimentation en eau potable, la production d'hydroélectricité et les processus industriels, de même que sur l'intégrité écologique

8) Études qui s'intéressent aux impacts du changement climatique sur la qualité de l'eau

Adaptation

1) Études intégrées sur la planification des ressources hydriques, qui examinent le rôle des gestionnaires de l'eau et leur influence sur la capacité d'adaptation

2) Étude de la capacité actuelle des structures et des institutions de gestion de l'eau, afin de faire face au changement climatique, et connaissance des coûts et des avantages sociaux, économiques et environnementaux des mesures d'adaptation éventuelles

3) En ce qui concerne les mesures d'adaptation qui font appel à la tarification de l'eau et qui font intervenir des politiques ou des lois, meilleure compréhension des conséquences de ces mesures au regard des principes de la justice et de l'équité environnementales, et étude des mécanismes nécessaires pour évaluer l'incidence des transferts d'eau sur les tierces parties.

Conclusion

L'ampleur du changement climatique que prévoient la plupart des modèles du climat mondial aura un impact sur les ressources en eau et affectera les ressources alimentaires, la santé, l'industrie, les transports et la durabilité des écosystèmes. Des problèmes risquent de se poser surtout dans les régions déjà soumises à un stress hydrique, lequel sera exacerbé par les variations de l'offre et de la demande causées par le changement climatique. Il faudra mettre l'accent sur les impacts des événements extrêmes (sécheresses et inondations), dont la fréquence et l'ampleur augmenteront vraisemblablement dans plusieurs régions du pays. Ces événements extrêmes mettront à rude épreuve les infrastructures et les institutions en place et pourraient avoir des conséquences majeures sur le plan économique, social et environnemental.

Les projections du changement climatique et des variations hydrologiques à l'échelle locale demeureront probablement entachées d'une forte incertitude. Aussi faut-il considérer le changement climatique dans le contexte de la gestion des risques et de l'évaluation des vulnérabilités. Vu la complexité de l'interaction de nombreux facteurs qui jouent sur l'offre et la demande d'eau, et compte tenu du grand nombre des activités tributaires des ressources hydriques, il est nécessaire de réaliser des études intégrées qui tiennent compte à la fois des déterminants environnementaux et des déterminants humains. L'élaboration de stratégies d'adaptation judicieuses et durables commande l'implication des chercheurs en sciences physiques et en sciences sociales, des gestionnaires de l'eau et d'autres intervenants.

Références

Les références en caractères gras désignent des rapports portant sur des travaux financés dans le cadre du Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada.

(1) Environnement Canada. *La conservation de l'eau : chaque goutte est précieuse*, Approvisionnements et Services Canada, 1992, coll. « Eau douce », n° A-6.

(2) Environnement Canada. Site Web sur l'eau douce, 2001. Disponible en ligne à http://www.ec.gc.ca/water/ (accès en avril 2002).

(3) Environnement Canada. *Les dix principaux événements météorologiques de 2001*. Disponible en ligne à http://www.msc.ec.gc.ca/top_10_e.cfm (accès en mars 2002).

(4) Cohen, S. et K. Miller. « North America », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 735-800. Aussi disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en juillet 2002).

(5) Arnell, N. et C. Liu. « Hydrology and water resources », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 191-233. Aussi disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en juillet 2002).

(6) Hofmann, N., L. Mortsch, S. Donner, K. Duncan, R. Kreutzwiser, S. Kulshreshtha, A. Piggott, S. Schellenberg, B. Schertzerand et M. Slivitzky. « Climate change and variability: impacts on Canadian water », dans *Responding to Global Climate Change: National Sectoral Issue*, G. Koshida et W. Avis (éd.), 1998. Canada, ministère de l'Environnement, *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, vol. VII.

(7) Chalecki, E.L. et P.H. Gleick. « A framework of ordered climate effects on water resources: a comprehensive bibliography », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, n° 6, 1999, pp. 1657-1665.

(8) Herrington, R., B.N. Johnson et F.G. Hunter. *Responding to global climate change in the Prairies*, 1997. Environnement Canada, *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, vol. III, 75 p.

(9) Dolan, A.H., R.D. Kreutzwiser et R.C. de Loë. « Rural water use and conservation in southwestern Ontario », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 55, n° 2, 2000, pp. 161-171.

(10) British Columbia Ministry of the Environment, Lands and Parks. *A water conservation strategy for British Columbia*, 1999. Disponible en ligne à http://wlapwww.gov.bc.ca/wat/wamr/water_conservation/index.html (accès en juin 2002).

(11) Ryder, J.M. *Geomorphological processes in the alpine areas of Canada: the effects of climate change and their impacts on human activities*, Commission géologique du Canada, bulletin n° 524, 1998, 44 p.

(12) Zhang, X., K.D. Harvey, W.D. Hogg et T.R. Yuzyk. « Trends in Canadian streamflow », *Water Resources Research*, vol. 37, n° 4, 2001, pp. 987-998.

(13) **Demuth, M.N., A. Pietroniro et T.B.M.J. Ouarda. *Streamflow regime shifts resulting from recent glacier fluctuations in the eastern slopes of the Canadian Rocky Mountains*, 2002. Rapport rédigé avec l'aide du Collectif des Prairies pour la recherche en adaptation.**

(14) Commission mixte internationale. *Protection of the waters of the Great Lakes: final report to the governments of Canada and the United States*, Commission mixte internationale, 22 février 2000.

(15) Beltaos, S. *Effects of climate on river ice jams*, compte rendu du 9e atelier sur la glace fluviale, Fredericton, (Nouveau-Brunswick), 1997, pp. 225-244.

(16) Prowse, T. et S. Beltaos. « Climatic control of river-ice hydrology: a review », *Hydrological Processes*, vol. 16, n° 4, 2002, pp. 805-822.

(17) **Bellamy, S., D. Boyd et L. Minshall. *Determining the effect of climate change on the hydrology of the Grand River watershed*, 2002. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(18) **Piggott, A., D. Brown, S. Moin et B. Mills. *Exploring the dynamics of groundwater and climate interaction*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(19) Remenda, V.H. et S.J. Birks. « Groundwater in the Palliser Triangle: An overview of its vulnerability and potential to archive climate information », dans *Holocene climate and environmental change in the Palliser Triangle: a geoscientific context for evaluating the impacts of climate change on the southern Canadian Prairies*, D.S. Lemmen et R.E. Vance (éd.), 1999, Commission géologique du Canada, bulletin n° 534, pp. 57-66.

(20) **Maathuis, H. et L.H. Thorleifson. *Potential impact of climate change on Prairie groundwater supplies: review of current knowledge*, Saskatchewan Research Council, publication n° 11304-2E00, 2000. Rapport rédigé avec l'aide du Collectif des Prairies pour la recherche en adaptation.**

(21) **Bruce, J., I. Burton, H. Martin, B. Mills et L. Mortsch. *Le secteur de l'eau : vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques*, juin 2000. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(22) Nicholls, K.H. « Effects of temperature and other factors on summer phosphorus in the inner Bay of Quinte, Lake Ontario: implications for climate warming », *Journal of Great Lakes Research*, vol. 25, n° 2, 1999, pp. 250-262.

(23) Schindler, D.W. « A dim future for boreal watershed landscapes », *BioScience*, vol. 48, 1998, pp. 157-164.

(24) Hudon, C. « Phytoplankton assemblages in the St. Lawrence River, downstream of its confluence with the Ottawa River, Quebec, Canada », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, suppl. 1, 2000, pp. 16-30.

(25) Adams, R.M., B.H. Hurd et J. Reilly. *Agriculture and global climate change: a review of impacts to U.S. agricultural resources*, Arlington, Virginie, Pew Center on Global Climate Change, 1999.

(26) Mehdi, B., J. Hovda et C.A. Madramootoo. « Impacts of climate change on Canadian water resources », dans *Proceedings of the Canadian Water Resources Association Annual Conference, June 11–14, 2002*, Winnipeg (Manitoba).

(27) **Chen, Z. et S. Grasby. *Predicting variations in groundwater levels in response to climate change, upper carbonate rock aquifer, southern Manitoba: climatic influences on groundwater levels in the Prairies, including case studies and aquifers under stress, as a basis for the development of adaptation strategies for future climatic changes*, 2001. Deuxième phase du rapport rédigé avec l'aide du Collectif des Prairies pour la recherche en adaptation.**

(28) Schindler, D.W. « The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, n° 1, 2001, pp. 18-29.

(29) Devito, K.J., A.R. Hill et P.J. Dillon. « Episodic sulphate export from wetlands in acidified headwater catchments: prediction at the landscape scale », *Biogeochemistry*, vol. 44, 1999, pp. 187-203.

(30) Branfireun, B.A., N.T. Roulet, C.A. Kelly et J.W. Rudd. « In situ sulphate stimulation of mercury methylation in a boreal peatland: toward a link between acid rain and methyl-mercury contamination in remote environments », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 13, n° 3, 1999, pp. 743-750.

(31) **Van der Kamp, G., M. Hayashi et F.M. Conly. *Controls on the area and permanence of wetlands in the northern Prairies of North America*, 2001. Rapport rédigé avec l'aide du Fonds d'action pour le changement climatique.**

(32) Mortsch, L. « Assessing the impact of climate change on the Great Lakes shoreline wetlands », *Climatic Change*, vol. 40, n° 2, 1998, pp. 391-416.

(33) Ashmore, P. et M. Church. « The impact of climate change on rivers and river processes in Canada », Commission géologique du Canada, bulletin n° 555, 2001, p. 58.

(34) **Prowse, T., S. Beltaos, B. Bonsal, A. Pietroniro, P. Marsh, R. Leconte, L. Martz, L. Romolo, J.M. Buttle, D. Peters et D. Blair. *Climate change impacts on northern river ecosystems and adaptation strategies via the hydroelectric industry*, 2001. Rapport d'évaluation rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(35) Vorosmarty, C.J., P. Green, J. Salisbury et R.B. Lammers. « Global water resources: vulnerability from climate change and population growth », *Science*, vol. 289, n° 5477, 2000, pp. 284-288.

(36) Frederick, K.D. et P.H. Gleick. *Water and global climate change: potential impacts on U.S. water resources*, 1999. Rapport rédigé pour le Pew Center on Global Climate Change.

(37) Filion, Y. « Implications for Canadian water resources and hydropower production », *Revue canadienne des ressources en eau*, vol. 25, n° 3, 2000, pp. 255-269.

(38) Jackson, R.B., S.R. Carpenter, C.N. Dahm, D.M. McKnight, R.J. Naiman, S.L. Postel et S.W. Running. « Water in a changing world », *Ecological Applications*, vol. 11, n° 4, 2001, pp. 1027-1045.

(39) Gleick, P.H. (auteur principal). *Water: the potential consequences of climate variability and change for the water resources of the United States*, 2000. Report to the Water Sector Assessment Team of the National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change, for the U.S. Global Change Research Program.

(40) Seacrest, S., R. Kuzelka et R. Leonard. « Global climate change and public perception: the challenge of translation », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 36, n° 2, 2000, pp. 253-263.

(41) de Loë, R., R. Kreutzwiser et L. Moraru. *Climate change and the Canadian water sector: impacts and adaptation*, mai 1999. Rapport rédigé pour Ressources naturelles Canada.

(42) Chao, P.T., B.F. Hobbs et B.N. Venkatesh. « How climate uncertainty should be included in Great Lakes management: modelling workshop results », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, n° 6, 1999, pp. 1485-1497.

(43) de Loe, R. et R. Kreutzwiser. « Climate variability, climate change and water resource management in the Great Lakes », *Climatic Change*, vol. 45, 2000, pp. 163-179.

(44) Andres, D. et G. Van der Vinne. « Effects of climate change on the freeze-up regime of the Peace River », dans *Ice in Surface Waters*, Hung Tao Shen (éd.). Compte rendu du 14th International Symposium on Ice, New York, 27-31 juillet 1998, vol. 1, 1998, pp. 153-158.

(45) Gan, T.Y. « Reducing vulnerability of water resources of Canadian Prairies to potential droughts and possible climatic warming », *Water Resources Management*, vol. 14, n° 2, 2000, pp. 111-135.

(46) **Kije Sipi Ltd. *Impacts and adaptation of drainage systems, design methods and policies*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(47) Arnell, N.W. « Thresholds and response to climate change forcing: the water sector », *Climatic Change*, vol. 46, 2000, pp. 305-316.

(48) Murdoch, P.S., J.S. Baron et T.L. Miller. « Potential effects of climate change on surface-water quality in North America », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 36, n° 2, 2000, pp. 347-366.

(49) Lettenmaier, D.P., A.W. Wood, R.N. Palmer, E.F. Wood et E.Z. Stakhiv. « Water resources implications of global warming: a U.S. regional perspective », *Climatic Change*, vol. 43, n° 3, 1999, pp. 537-579.

(50) Southam, C.F., B.N. Mills, R.J. Moulton et D.W. Brown. « The potential impact of climate change in Ontario's Grand River basin », *Revue canadienne des ressources en eau*, vol. 24, n° 4, 1999, pp. 307-330.

(51) Denault C., R.G. Millar et B.J. Lence. « Climate change and drainage infrastructure capacity in an urban catchment », dans *Proceedings of the Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*, 5-6 juin 2002, Montréal (Québec).

(52) **Ivey, J., J. Smithers, R. de Loë et R. Kreutzwiser. *Strengthening rural community capacity for adaptation to low water levels*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(53) Boland, J.J. « Water supply and climate uncertainty », dans *Global Change and Water Resources Management*, K. Shilling et E. Stakhiv (éd.), 1998. Universities Council on Water Resources, *Water Resources Update*, vol. 112, pp. 55-63.

(54) Waller, D.H. et R.S. Scott. « Canadian municipal residential water conservation initiative », *Revue canadienne des ressources en eau*, vol. 23, n° 4, 1998, pp. 369-406.

(55) Henderson, J.D. et R.D. Revel. « A community approach to water management on a small west coast island », *Revue canadienne des ressources en eau*, vol. 25, n° 3, 2000, pp. 271-278.

(56) **Cohen, S. et T. Kulkarni. *Water management and climate change in the Okanagan basin*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(57) Kreutzwiser, R., L. Moraru et R. de Loë. *Municipal water conservation in Ontario: report on a comprehensive survey*, 1998. Rapport préparé pour la Direction générale des affaires ministérielles des Grands Lacs, Environnement Canada (région de l'Ontario), Burlington (Ontario).

(58) Bruce, J.P. Communication personnelle, 2002.

(59) Mortsch, L., H. Hengeveld, M. Lister, B. Lofgren, F.H. Quinn, M. Slivitzky et L. Wenger. « Climate change impacts on the hydrology of the Great Lakes–St. Lawrence system », *Revue canadienne des ressources en eau*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 153-179.

(60) Saunders, J.O. « Law and the management of the Great Lakes basin », *Revue canadienne des ressources en eau*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 209-242.

L'agriculture

« L'agriculture est naturellement sensible aux conditions climatiques. Sans adaptation, la production agricole et les économies et collectivités agricoles ont généralement des problèmes face au changement climatique; par contre, elles peuvent devenir moins vulnérables si elles adoptent des stratégies d'adaptation. »[1]

En 1998, l'industrie agricole et agroalimentaire canadienne a généré des recettes atteignant approximativement 95 milliards de dollars et elle occupait le troisième rang sur la liste des employeurs au pays.[2,3] En 2000, les exportations agroalimentaires canadiennes étaient évaluées à 23,4 milliards de dollars et représentaient 6,1 p. 100 du total des marchandises exportées.[3] Les exploitations agricoles sont réparties dans tout le Canada, la majorité des terres agricoles se trouvant dans les provinces des Prairies (*voir* le tableau 1). Les exploitations bovines et les fermes laitières fournissent la plus grande partie des recettes monétaires agricoles, mais le blé tendre, le colza et les autres céréales et oléagineux y contribuent également dans une large mesure.[4]

Bien que l'agriculture soit une composante vitale de l'économie canadienne, seule une petite partie du territoire canadien est cultivée. Les limitations imposées

TABLEAU 1 : Distribution des fermes au Canada [4]

Région	Nbre de fermes*	Superficie totale des fermes (ha)	Principaux types de fermes
Canada	230 540	67 502 446	Bétail (bœuf), céréales et oléagineux
Terre-Neuve-et-Labrador	519	40 578	Spécialités diverses, légumes
Île-du-Prince-Édouard	1 739	261 482	Bétail (bœuf), cultures de grande production
Nouvelle-Écosse	3 318	407 046	Spécialités diverses, fruits
Nouveau-Brunswick	2 563	388 053	Bétail (bœuf), spécialités diverses
Québec	30 539	3 417 026	Produits laitiers, spécialités diverses
Ontario	55 092	5 466 233	Bétail (bœuf), céréales et oléagineux
Manitoba	19 818	7 601 772	Bétail (bœuf), céréales et oléagineux
Saskatchewan	48 990	26 265 645	Blé, céréales et oléagineux
Alberta	50 580	21 067 486	Bétail (bœuf), céréales et oléagineux
Colombie-Britannique	17 382	2 587 118	Spécialités diverses, bétail (bœuf)

* Fermes dont les recettes sont supérieures à 2 499 $

« L'agriculture est naturellement sensible aux conditions climatiques. Sans adaptation, la production agricole et les économies et collectivités agricoles ont généralement des problèmes face au changement climatique; par contre, elles peuvent devenir moins vulnérables si elles adoptent des stratégies d'adaptation. »[1]

En 1998, l'industrie agricole et agroalimentaire canadienne a généré des recettes atteignant approximativement 95 milliards de dollars et elle occupait le troisième rang sur la liste des employeurs au pays.[2] En 2000, les exportations agroalimentaires canadiennes étaient évaluées à 23,4 milliards de dollars et représentaient 6,1 p. 100 du total des marchandises exportées.[3] Les exploitations agricoles sont réparties dans tout le Canada, la majorité des terres agricoles se trouvant dans les provinces des Prairies (voir le tableau 1). Les exploitations bovines et les fermes laitières fournissent la plus grande partie des recettes monétaires agricoles, mais le blé tendre, le colza et les autres céréales et oléagineux y contribuent également dans une large mesure.[4]

Bien que l'agriculture soit une composante vitale de l'économie canadienne, seule une petite partie du territoire canadien est cultivée. Les limitations imposées

TABLEAU 1 : Distribution des fermes au Canada [4]

Région	N^bre de fermes*	Superficie totale des fermes (ha)	Principaux types de fermes
Canada	230 540	67 502 446	Bétail (bœuf), céréales et oléagineux
Terre-Neuve-et-Labrador	519	40 578	Spécialités diverses, légumes
Île-du-Prince-Édouard	1 739	261 482	Bétail (bœuf), cultures de grande production
Nouvelle-Écosse	3 318	407 046	Spécialités diverses, fruits
Nouveau-Brunswick	2 563	388 053	Bétail (bœuf), spécialités diverses
Québec	30 539	3 417 026	Produits laitiers, spécialités diverses
Ontario	55 092	5 466 233	Bétail (bœuf), céréales et oléagineux
Manitoba	19 818	7 601 772	Bétail (bœuf), céréales et oléagineux
Saskatchewan	48 990	26 265 645	Blé, céréales et oléagineux
Alberta	50 580	21 067 486	Bétail (bœuf), céréales et oléagineux
Colombie-Britannique	17 382	2 587 118	Spécialités diverses, bétail (bœuf)

* Fermes dont les recettes sont supérieures à 2 499 $

principalement par le climat et la nature des sols font que 7 p. 100 seulement de la masse continentale canadienne a utilisée à des fins agricoles.[5] Le climat influe fortement sur les fluctuations de la production agricole annuelle. Par exemple, la sécheresse qui a sévi dans une bonne partie du Canada en 2001 a sérieusement affecté les exploitations agricoles. La pénurie d'eau et la chaleur excessive, dans certaines régions de la Saskatchewan et de l'Alberta, ont entrainé une baisse considérable de la production agricole et constitué une menace pour la culture fourragère.[6] Dans le tableau 2, on dresse une liste des impacts de la sécheresse de 2001. Dans certaines régions des Prairies, l'année 2001 s'inscrit dans la perspective d'une sécheresse pluriannuelle qui s'est poursuivie à l'été 2002.

TABLEAU 2 : Impacts de la sécheresse de 2001 sur l'agriculture[6, 7]

Région	Impacts
Colombie-Britannique	• Pertes dans les cultures légumières • Effets négatifs sur les cultures fourragères, surtout dans le nord de l'Okanagan
Prairies	• Baisse de 43 p. 100 de la production de blé et de colza par rapport à 2000 • Impact de la baisse de production céréalière estimé à cinq milliards de dollars • En Alberta, rationnement, pour la première fois, de l'eau d'irrigation au printemps • Au Manitoba, augmentation des problèmes causés par les maladies dans la culture du colza, de l'orge et du blé
Grands Lacs – Saint-Laurent	• En Ontario, la plupart des cultures ont été touchées par la sécheresse et la chaleur • Augmentation du stress dû aux maladies, aux insectes et à la grêle • Populations records de certains insectes au Québec
Atlantique	• Baisse de 35 à 45 p. 100 de la récolte de pommes de terre à l'Île-du-Prince-Édouard • Le stress dû à la sécheresse a frappé les récoltes de fruits (p. ex., les bleuets, les fraises) et de légumes (p. ex., les fèves)

Selon beaucoup d'observateurs, les conséquences de la sécheresse de 2001 donnent un avant-goût de ce qui attend le secteur de l'agriculture canadienne dans les années à venir. Le changement climatique peut entrainer des conditions climatiques plus rudes, accroitre les problèmes causés par les ravageurs et engendrer de graves pénuries d'eau. Par contre, une température plus chaude et une saison de croissance prolongée seront bénéfiques sous plusieurs aspects de l'agriculture canadienne. Les experts s'accordent pour dire qu'un changement climatique de l'ampleur de celui que prévoit le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat[8] comporterait à la fois des avantages et des inconvénients pour le secteur agricole canadien, et que son impact varierait d'une région à l'autre.

L'adaptation est un des paramètres importants de la détermination de l'ampleur des répercussions du changement climatique sur l'agriculture. Des mesures d'adaptation appropriées permettraient aux agriculteurs de limiter leurs pertes en atténuant les effets défavorables, et de maximiser les profits en tirant parti des avantages du changement climatique. La gamme des mesures d'adaptation qui s'offrent au secteur agricole est étendue, et les stratégies varient fortement dans leur application et leur approche. Dans la sélection et la mise en œuvre des stratégies d'adaptation, il faudra prendre en considération les influences physiques, socio-économiques et politiques du changement climatique sur l'agriculture ainsi que les rôles que seront appelés à jouer les producteurs, l'industrie et le gouvernement. Il faudra également reconnaître que le changement climatique n'est qu'une des nombreuses difficultés auxquelles le secteur agricole doit faire face, et qu'il ne fera pas nécessairement partie des priorités à court terme des décideurs.

Dans le présent chapitre, nous examinons la recherche effectuée récemment dans le secteur agricole canadien sur les répercussions du changement climatique et l'adaptation qu'il suppose, en nous concentrant sur le secteur primaire et la vulnérabilité des exploitations agricoles. Malgré l'extrême importance de cet élément, nous n'abordons pas la totalité des effets potentiels du changement climatique sur l'industrie agroalimentaire ni la totalité des mesures d'adaptation possibles, car l'étude de ces sujets n'est encore que fragmentaire et les informations publiées à ce jour sont limitées.

Travaux antérieurs

« Les changements climatiques mondiaux auront très probablement des effets positifs et négatifs sur l'agriculture canadienne.[9]

Dans leur exposé de l'état de la recherche présenté dans le cadre de l'Étude pancanadienne, Brklacich *et al.*[9] affirment que le changement climatique aura de nombreuses répercussions sur l'agriculture au Canada. La plupart des régions du pays connaîtront des températures plus chaudes, une prolongation des saisons sans gel et une augmentation de l'évapotranspiration. Les effets réels de ces changements sur les exploitations agricoles dépendront toutefois de facteurs tels que les variations dans les précipitations, les conditions du sol et l'utilisation des terres. Dans l'ensemble, les régions agricoles septentrionales devraient bénéficier de saisons sans gel plus longues et plus chaudes. De nouvelles possibilités de culture apparaîtront dans certaines régions nordiques (p. ex., la région de la rivière de la Paix en Alberta et en Colombie-Britannique, et certaines parties du nord de l'Ontario et du Québec), bien que pendant les prochaines décennies, ces avantages se limiteront aux régions situées au sud du 60e parallèle. La pauvreté du sol constituera le facteur limitatif le plus important de l'expansion des cultures vers le nord. Dans le sud de l'Ontario et du Québec, les conditions plus chaudes favoriseront la croissance de cultures spécialisées comme celle de la pomme.

Dans bien des cas, les effets positifs et négatifs du changement climatique tendraient à s'équilibrer. Par exemple, les effets positifs des températures plus chaudes et de l'accroissement de la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère sur la croissance des cultures devraient largement compenser les effets négatifs du stress hydrique et de l'accélération de la maturation des cultures. Il faut tenir compte du fort coefficient d'incertitude de ces prévisions et du fait qu'elles omettent les changements qui découleront de l'éventuelle prolifération des ravageurs et des éléments pathogènes – par exemple, les hivers plus chauds pourraient augmenter les infestations de sauterelles dans les Prairies – et qu'elles ne tiennent pas compte des impacts possibles de la fragmentation des terres agricoles.

Au moment de l'Étude pancanadienne, l'adaptation agricole au changement climatique était considérée comme un champ d'étude relativement neuf. Dans la recherche sur l'adaptation, on s'était efforcé de déterminer les mesures d'adaptation possibles et d'étudier leur faisabilité. Les études, essentiellement techniques, ne prenaient pas en compte les paramètres économiques ni la capacité des producteurs à appliquer une stratégie d'adaptation. Pour combler cette lacune, Brklacich *et al.*[9] ont recommandé qu'on fasse participer davantage la collectivité agricole à la recherche sur l'adaptation.

Impacts sur l'agriculture

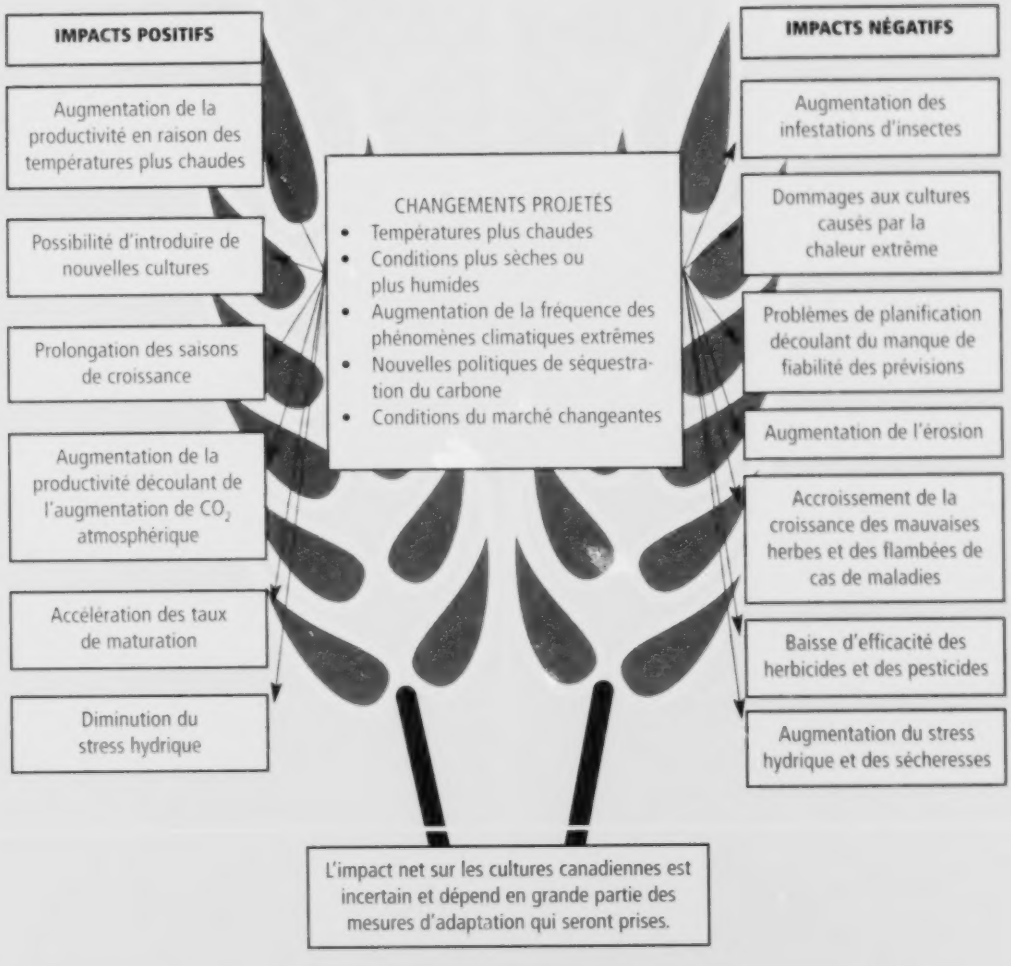
« Le changement climatique aura, sur l'agriculture, des effets qui causeront des dommages et engendreront des gains qui s'étendront des plantes et des animaux, pris individuellement, aux réseaux commerciaux mondiaux. »[10]

Impacts sur les cultures

Le changement climatique pourrait avoir de nombreux effets sur la production agricole (*voir* la figure 1). En fait, les prévisions de la réaction des cultures au changement climatique varient fortement et laissent supposer des gains et des pertes. Plusieurs auteurs ont intégré, dans des études canadiennes récentes, les modèles de cultures et le modèle de circulation générale (MCG) dans un scénario climatique où la concentration de CO_2 dans l'atmosphère aurait doublé, afin de connaître l'impact du changement climatique sur différents types de cultures. En voici quelques exemples :

- McGinn *et al.*[11] prévoient que l'augmentation de la production agricole de colza, de maïs et de blé tendre, en Alberta, se situera entre 21 et 124 p. 100.
- Singh *et al.*[12] prévoient que la production de maïs et de sorgho, au Québec, pourrait augmenter de 20 p. 100, tandis que celle de soja pourrait diminuer de 20 à 30 p. 100. Les récoltes de colza, de tournesol, de pommes de terre, de tabac et de betteraves augmenteraient, tandis que les récoltes de petits pois, d'oignons, de tomates et de choux diminueraient.
- Bootsma *et al.*[13] sont d'avis que les récoltes de maïs-grain et de soja, dans les provinces de l'Atlantique, pourraient augmenter respectivement de 3,8 tonnes/hectare et de 1,0 tonne/hectare, tandis que la récolte de l'orge ne subirait aucun changement notable. Ils prévoient également que, pour maximiser les

FIGURE 1 : Effets potentiels du changement climatique sur la production agricole au Canada



bénéfices, on convertira au moins 50 p. 100 des terres agricoles actuellement ensemencées en petites céréales et en maïs-fourrage ensilé à la culture du maïs-grain et du soja.

Comme c'est le cas dans d'autres secteurs, la résolution des données que fournit le MCG aux fins de modélisation des effets sur l'agriculture soulève des questions (p. ex., référence 12). Dans de nombreuses études, on a interpolé des données du MCG pour obtenir les prévisions régionales du changement climatique, ce qui soulève des questions quant à la validité des méthodes d'interpolation et à l'exactitude des résultats, en particulier en ce qui concerne les régions à microclimat (p. ex., la péninsule de Niagara, la vallée de l'Annapolis). Cependant, en ce qui a trait à la méthodologie, une étude statistique récente révèle que les différentes méthodes d'interpolation utilisées n'influencent pas outre mesure les résultats des études.[14] Cette conclusion renforce la confiance globale que l'on peut avoir dans les projections des modèles.

L'augmentation du stress hydrique et de la sécheresse fait craindre le pire pour les cultures à travers le pays, qu'elles soient irriguées ou non. Si l'eau vient à manquer, la production déclinera et des récoltes entières risquent d'être perdues. Le changement climatique modifiera probablement les profils hygrométriques, mais l'amplitude et la direction de ces changements sont très incertaines. De plus, les saisons de croissance prolongées et les températures plus chaudes augmenteront probablement les besoins en eau, tout comme les variations de la fréquence des sécheresses. Dans les encadrés 1 et 2, on décrit les résultats d'études récentes dans lesquelles on a

ENCADRÉ 1 : Les Prairies s'assécheront-elles?[15, 16]

Le changement climatique entraînera-t-il un manque d'humidité et une augmentation de la sécheresse? La question est cruciale pour les provinces des Prairies, où le manque d'humidité constitue déjà une source de préoccupation importante et où les sécheresses chroniques ont occasionné des pertes substantielles à la collectivité agricole. La réponse à cette question demeure malheureusement assez vague.

En se servant du modèle de circulation générale (MCGA1) du Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique, Nyirfa et Harron[16] ont trouvé que les contraintes imposées par l'humidité seront beaucoup plus importantes dans la plupart des régions agricoles des Prairies d'ici 2040 à 2069. Les précipitations devraient augmenter, mais elles ne compenseront pas les pertes d'humidité accrues découlant de températures plus chaudes et de l'augmentation des taux d'évapotranspiration. Les chercheurs en concluent que les récoltes de petites céréales semées au printemps seront menacées, à moins que l'on n'adopte des mesures d'adaptation telles que le changement de cultures et le déplacement des pâturages.

Par contre, en utilisant une série de scénarios de changement climatique, McGinn *et al.*[15] ont trouvé que les niveaux d'humidité de la couche supérieure du sol – de 120 cm – seront égaux ou supérieurs à ceux d'aujourd'hui. Leurs modèles montrent aussi que les dates d'ensemencement du blé au printemps seront avancées de 18 à 26 jours et que la saison de croissance sera plus courte. Les récoltes se feront donc plus tôt, ce qui permettra d'éviter les conditions arides de la fin de l'été. Mais ces avantages ne seront pas répartis uniformément à travers les Prairies; certaines régions suscitent des inquiétudes, comme le sud-est de la Saskatchewan et le sud du Manitoba, où les précipitations estivales devraient diminuer.

Photo : Gracieuseté d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

ENCADRÉ 2 : Alimentation et besoins en eau dans l'Okanagan[17]

La viabilité agricole du sud de la vallée de l'Okanagan dépend largement de la présence d'eau d'irrigation. Les chercheurs prévoient que, d'ici la fin du siècle, la demande en eau des cultures et les besoins d'irrigation augmenteront de plus de 35 p. 100 par rapport aux valeurs historiques. Le lac et le chenal principal devraient contenir assez d'eau pour répondre à cette augmentation de la demande, mais les exploitations agricoles qui dépendent des affluents risquent de connaître des pénuries d'eau.

Pour régler le déséquilibre entre l'eau disponible et la demande d'eau, Neilsen *et al.*[17] préconisent l'intensification des mesures de conservation de l'eau, telles que la micro-irrigation et l'application de paillis sur les sols. Ils suggèrent également l'application de nouvelles techniques, comme la régulation de l'irrigation déficitaire et le séchage partiel de la rhizosphère, qui engendreraient d'importantes économies d'eau.

Photo : Gracieuseté de Ken Hall.

examiné l'influence du changement climatique sur les conditions d'humidité dans les Prairies et la vallée de l'Okanagan, deux régions agricoles parmi les plus sèches du Canada.

Si de nombreuses questions concernant la nature des futurs changements climatiques à l'échelle régionale et locale demeurent sans réponse, il ne fait aucun doute que le niveau de CO_2 dans l'atmosphère continuera d'augmenter pendant plusieurs décennies. On sait qu'en général, l'augmentation de la concentration en CO_2 dans l'atmosphère entraîne une augmentation de la production agricole. Cela s'explique par le fait que la hausse des concentrations de

CO_2 a tendance à améliorer l'efficience de l'utilisation de l'eau par les plantes et les taux de photosynthèse. Mais cette relation n'est pas simple. Par exemple, il faut s'attendre à ce que certains types de plantes, tels que les légumineuses, profitent plus que d'autres de cette situation, et il est probable que la valeur nutritive de certaines cultures diminue. En outre, plusieurs facteurs, dont les conditions d'humidité et la présence d'éléments nutritifs, peuvent restreindre ou annuler les avantages de la fertilisation par le CO_2. Dans certaines études d'impact, on a tenté d'incorporer les effets du CO_2 dans la modélisation, mais de nombreux chercheurs estiment qu'il plane encore trop d'incertitudes sur cette question pour qu'on puisse intégrer efficacement les effets de l'augmentation de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère.[12]

Un autre facteur qui complique la projection des tendances de la production agricole est l'interaction du changement climatique et de l'augmentation des concentrations de CO_2 avec d'autres facteurs de stress environnemental, tels que l'ozone et le rayonnement UV-B. Par exemple, les températures plus chaudes tendent à augmenter les concentrations d'ozone au niveau du sol, situation qui a un effet négatif sur la production agricole. Des études montrent que cet effet négatif peut annuler tous les gains de productivité découlant de l'augmentation des niveaux de CO_2 dans l'atmosphère.[18]

Des changements dans les conditions hivernales auraient également un effet appréciable sur la productivité et la croissance des cultures. Les modèles climatiques prévoient que le futur réchauffement culminera en hiver. Des mois d'hiver plus chauds réduiront substantiellement le risque de dommages aux arbres fruitiers et aux rhizomes dans certaines régions, comme le sud de la vallée de l'Okanagan.[17] Mais les hivers plus chauds amèneront également leur lot de problèmes pour l'agriculture, en particulier en ce qui a trait aux ravageurs, puisque le froid extrême de l'hiver joue souvent un rôle important dans la régulation de leurs populations. Les hivers plus chauds risqueront aussi d'altérer la capacité de récupération des cultures (*voir* l'encadré 3).

De nombreuses cultures sont plus sensibles aux variations de la fréquence des températures extrêmes qu'aux changements des conditions moyennes. Par exemple, on a trouvé qu'une période de chaleur extrême coïncidant avec le stade critique de développement d'une culture produit des effets négatifs, comme la diminution de la production annuelle dans le cas des cultures semencières (p. ex., référence 20), ou cause des dommages aux arbres fruitiers tels que les pommiers.[17] Les cultures qui demandent plusieurs années pour s'établir (p. ex., les arbres fruitiers) sont particulièrement sensibles aux phénomènes extrêmes. Mais jusqu'à présent, la plupart des études ont été axées sur les variations des conditions moyennes, et on commence seulement à étudier des scénarios d'événements climatiques extrêmes. De nombreux experts sont persuadés qu'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes engendrerait le plus grand défi que le changement climatique imposerait à l'industrie agricole.

Un autre facteur – les variations du régime des vents – n'est habituellement pas intégré dans la modélisation des effets du changement climatique, pour la principale raison que les projections éoliennes des MCG sont très incertaines[21] et que les phénomènes éoliens en général sont mal connus. Le vent n'en demeure pas moins un paramètre important de la production agricole, car il a une grande influence sur l'évapotranspiration et l'érosion, en particulier dans les Prairies. L'absence de projection de la dynamique des vents dans les évaluations des effets du changement climatique ne fait que rendre ces dernières plus incertaines.

ENCADRÉ 3 : Les hivers plus chauds profiteraient-ils aux cultures?[19]

Les hivers rudes limitent la distribution géographique des cultures vivaces, mais des hivers plus chauds ne seraient pas nécessairement bénéfiques. En fait, les dommages causés par l'hiver aux plantes fourragères vivaces risqueraient d'augmenter dans l'est du Canada, en raison de leur moindre endurance au froid acquise pendant l'automne, des périodes de dégel plus fréquentes en hiver et de la diminution de l'épaisseur de la couche de neige protectrice. Par exemple, d'ici 2040 à 2069, malgré une augmentation de 5 °C des températures minimales annuelles, le nombre de jours froids (température inférieure à -15 °C) sans une couverture protectrice de neige (couche de moins de 0,1 mètre d'épaisseur) pourrait augmenter de plus de deux semaines.

Par contre, les arbres fruitiers seraient moins exposés aux dommages dus à l'hiver, en raison des températures hivernales plus douces, qui diminueraient l'agression par le froid; de plus, une diminution des gelées tardives du printemps abaisserait le risque de dommages aux bourgeons dans de nombreuses régions. Cependant, de plus fréquentes périodes de dégel, en hiver, auraient pour effet d'abaisser la résistance au froid des arbres et d'augmenter leur sensibilité aux températures froides de la fin de l'hiver.

On observe depuis peu un autre phénomène qui joue un rôle important dans la production agricole : le réchauffement est devenu asymétrique, c'est-à-dire que les minima nocturnes augmentent plus rapidement que les maxima diurnes. Et les modèles climatiques laissent prévoir que cette tendance se maintiendra. Ce type de réchauffement asymétrique tend à réduire la perte d'eau des cultures par évapotranspiration et à améliorer l'efficience de l'utilisation de l'eau.[22] Dans ces conditions, les répercussions du changement climatique sur la productivité agricole pourraient être moins marquées que les effets prévus dans un scénario où les réchauffements diurne et nocturne s'équivalent.[23]

Impacts sur le bétail

Au Canada, on compte plus de 90 000 exploitations d'élevage, qui représentaient plus de 17 milliards de dollars des recettes monétaires agricoles en 2000.[4] Malgré l'importance économique de ces exploitations, peu d'études ont été faites au sujet des effets du changement climatique sur celles-ci.

On admet généralement que la température est le facteur bioclimatique le plus important pour le bétail.[24] Des températures plus chaudes présenteront à la fois des avantages et certaines difficultés pour les exploitations d'élevage. Les avantages seront plus manifestes en hiver, car le temps plus chaud diminuera les besoins en nourriture, améliorera la survie des jeunes et réduira les coûts d'énergie.[25] Les difficultés surgiront durant l'été, car les vagues de chaleur entraîneront la mort de nombreux animaux. Par exemple, on entend souvent parler de grandes quantités de poulets qui périssent aux États-Unis pendant les vagues de chaleur.[26, 27] Le stress dû à la chaleur a également des répercussions sur la production de lait, la qualité de la viande et la reproduction des vaches laitières.[24] On sait en outre que le réchauffement des températures a pour effet de diminuer l'appétit du bétail et, par conséquent, sa prise de poids.[28] Par exemple, une étude menée dans les Appalaches a montré qu'une augmentation de la température de 5 °C en été avait entraîné une diminution de 10 p. 100 de la reproduction des vaches et de la production laitière.[28]

À condition que l'humidité soit suffisante, on s'attend généralement à ce que des températures plus chaudes et des concentrations en CO_2 plus élevées augmentent le taux de croissance des prairies et des pâturages.[29, 30, 31] On estime qu'un doublement de la quantité de CO_2 dans l'atmosphère entraînerait une augmentation de 17 p. 100 de la productivité moyenne des prairies,[29] les augmentations les plus fortes ayant lieu dans les régions froides[32] et les écosystèmes comportant des pâturages à humidité limitée.[29] Mais les résultats des études varient considérablement suivant les endroits, et des changements de composition taxinomique peuvent modifier les effets réels de ces températures sur le pâturage du bétail.[29] Par exemple, des études ont montré que les futurs changements climatiques, en particulier ceux comportant des phénomènes extrêmes, peuvent favoriser l'invasion d'espèces étrangères dans les pâturages,[33] ce qui pourrait réduire la valeur nutritive de l'herbe.

Une augmentation des déficits hydriques dus à la sécheresse pourrait forcer les producteurs à diminuer le nombre de têtes de bétail qu'ils gardent en pâture pour préserver leurs terres, comme l'a montré la sécheresse de 2001, qui a forcé de nombreux producteurs des Prairies à abattre une partie de leurs troupeaux. Pour la saison 2002, on a prévu que de nombreux pâturages ne toléreraient aucun pacage, tandis que la capacité normale d'autres pâturages serait réduite de 70 à 80 p. 100.[34]

Peu d'ouvrages traitent des répercussions des phénomènes climatiques extrêmes sur le bétail. Pourtant, les tempêtes, les blizzards et les sécheresses posent des problèmes importants aux éleveurs.[28] En plus des effets directs qu'elles ont sur les animaux, les tempêtes peuvent causer des pannes de courant qui interrompent le fonctionnement des fermes dont les opérations journalières dépendent étroitement de l'électricité. Ce genre de situation a été illustré par la tempête de verglas de 1998 qui s'est abattue sur l'est de l'Ontario et le sud du Québec, où de nombreux propriétaires de fermes laitières ont passé plusieurs jours, voire plusieurs semaines, sans pouvoir utiliser leurs machines à traire. La santé des vaches en a pâti (elles couraient le risque de souffrir de mammite), et cette tempête a causé d'importantes pertes de revenus,[35] d'autant plus que les fermiers étaient dans l'incapacité de stocker le lait à la bonne température. Et comme le manque d'électricité rendait difficiles la ventilation et le chauffage des étables, les animaux sont devenus plus vulnérables aux maladies.[35]

Dégradation des sols

« Combattre la dégradation des sols s'impose comme un des plus grands défis que l'agriculture mondiale ait à relever. Elle découle de l'érosion, de l'épuisement, de la saturation en eau et de l'accumulation de solutés. »[10]

Les répercussions que peut avoir le changement climatique sur la qualité des sols agricoles sont les suivantes : la variation de la teneur en carbone des sols, la lixiviation de leurs éléments nutritifs et le ruissellement. Par exemple, les variations des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère, les déplacements de la végétation et les variations des cycles assèchement-humidification peuvent tous avoir des effets sur le carbone contenu dans le sol, et donc sur la qualité et la productivité de celui-ci.[36, 37]

L'érosion des sols menace la productivité et la pérennité agricoles et nuit à la qualité de l'air et de l'eau.[38] L'érosion des sols peut s'aggraver de plusieurs manières sous l'effet du changement climatique. L'érosion éolienne et l'érosion par l'eau sont étroitement liées à des phénomènes climatiques extrêmes – tels que les sécheresses et les inondations – qui, selon les prévisions, seront plus fréquents par suite du changement climatique.[21, 39] Les changements d'utilisation des terres pourraient exacerber ces effets, car la conversion de la couverture végétale en terres labourables augmente fortement la sensibilité du paysage à l'érosion résultant de la sécheresse ou d'autres fluctuations climatiques.[40] Les hivers plus chauds peuvent entraîner une diminution de la couche de neige protectrice et exposer davantage les sols à l'érosion éolienne, tandis que l'augmentation des cycles gel-dégel favorisera la fragmentation des particules du sol.[41] Le risque d'érosion augmentera également si, pour réagir aux conditions de sécheresse, les producteurs recourent davantage à la jachère.

Parasites et mauvaises herbes

Les mauvaises herbes, les insectes et les agents pathogènes sont tous sensibles à la température et à l'humidité,[42] et certains organismes sont aussi sensibles aux concentrations de CO_2 dans l'atmosphère.[43, 44] Il est donc important de comprendre comment le changement climatique agira sur les parasites, les agents pathogènes et les mauvaises herbes si l'on veut en prévoir les répercussions sur l'agriculture.

La plupart des études traitant des effets du changement climatique sur les mauvaises herbes, les insectes et les maladies débouchent sur un éventail de résultats possibles et sont généralement basées sur des opinions d'experts plutôt que sur les résultats obtenus lors d'expériences de recherche effectuées en laboratoire ou sur le terrain. Les conclusions de ces études suggèrent ce qui suit :

- Une concentration élevée de CO_2 risque de favoriser la croissance des mauvaises herbes.[42]
- Les parasites et les agents pathogènes du bétail risquent de migrer vers le nord si la ligne de gel se déplace dans cette direction.[28]
- La probabilité de survie des virus, d'une année à l'autre, risque d'augmenter.[45]
- Les hivers plus chauds risquent d'étendre la gamme d'insectes et d'aggraver les infestations et les maladies.[42]
- Les hivers plus longs et plus chauds risquent d'entraîner des infestations plus fréquentes de parasites tels que le doryphore de la pomme de terre.[46]
- Le taux de prolifération des agents pathogènes et la résistance de l'hôte risquent de changer.[47]
- La distribution géographique des maladies des plantes risque de changer.[48]
- L'interaction des mauvaises herbes et des cultures risque d'être influencée.[49]

Il faut effectuer des études pour vérifier et valider ces prévisions, et il faut parfaire l'intégration des résultats dans les évaluations des répercussions.[50]

Un travail important a été accompli dans le domaine des effets du contrôle climatique sur les populations de sauterelles en Alberta et en Saskatchewan.[51] Cette recherche a montré que la reproduction et la survie des sauterelles sont favorisées par des conditions chaudes et sèches. Par exemple, on attribue au temps chaud et sec qui a sévi en 2001 une augmentation de 50 p. 100 du nombre moyen de sauterelles adultes par mètre carré, par rapport aux valeurs de 2000. Des températures supérieures à la moyenne accroissent le développement des sauterelles et leur permettent de déposer des œufs en plus grand nombre avant l'arrivée du gel. Et puisque le froid extrême peut tuer les œufs d'hiver, des hivers doux favorisent également la prolifération des sauterelles.[51] Une augmentation de la température et de la sécheresse dans les Prairies, selon les projections des modèles climatiques,[52] pourrait mener à des infestations de sauterelles plus importantes et plus étendues.

Des travaux récents indiquent que la relation entre les concentrations élevées de CO_2 dans l'atmosphère, les températures plus chaudes et les espèces de parasites est complexe. Prenons pour exemple une étude des effets de ces paramètres sur le puceron,[43] parasite important qui stoppe la croissance des plantes et déforme les feuilles, les fleurs et les bourgeons. Des concentrations élevées de CO_2 augmentent le taux de reproduction des pucerons, mais elles rendent ceux-ci plus vulnérables aux attaques de leurs ennemis naturels en diminuant leur quantité de phéromone d'alarme. Il se peut donc que les pucerons s'en tirent moins bien dans un environnement à concentration de CO_2 plus élevée.[43]

Les espèces végétales envahissantes, telles que les mauvaises herbes, ont une remarquable faculté d'adaptation au changement climatique, comme le laisse supposer la gamme étendue de latitudes sous lesquelles on les trouve actuellement. De plus, les espèces envahissantes ont souvent la capacité de se disperser rapidement, ce qui leur permet de changer de zone en réaction aux changements de climat. Il s'ensuit que ces espèces risquent de devenir des espèces dominantes dans certaines régions.[44]

Il faut également s'attendre à ce que le changement climatique diminue l'efficacité des pesticides, ce qui nous forcerait à modifier nos modèles prévisionnels des maladies et nos stratégies de gestion des maladies.[48, 49] Cela pourrait entraîner des applications plus massives et plus fréquentes de pesticides et, partant, menacer les organismes non visés et augmenter la pollution de l'eau,[49] en plus d'augmenter les coûts liés à l'utilisation des pesticides.[53] On prévoit des tendances semblables en ce qui concerne l'utilisation et les coûts des herbicides.[54]

Répercussions économiques

Pour évaluer les répercussions économiques du changement climatique sur l'agriculture, on utilise différents outils, dont les modèles climatiques, les modèles de cultures et les modèles économiques. Comme chaque étape du processus de modélisation nécessite la formulation d'hypothèses, la qualité des résultats finaux est altérée par une cascade d'incertitudes.[25] Dès lors, il n'est pas étonnant que les évaluations des répercussions économiques sur l'agriculture au Canada se caractérisent par leur grande variabilité.[55] Sur le plan général, toutefois, il faut s'attendre à ce que les répercussions économiques du changement climatique reflètent les répercussions biophysiques de ce changement (c'est-à-dire qu'on peut s'attendre à des avantages économiques là où les effets sur la production agricole sont positifs). Les études suggèrent qu'un léger réchauffement climatique serait généralement bénéfique à l'agriculture canadienne.[28]

Il faut toutefois noter que la plupart des évaluations des répercussions économiques ne tiennent pas compte des changements de fréquence et d'intensité des phénomènes extrêmes. Comme on l'a déjà mentionné, la sensibilité de l'agriculture aux phénomènes extrêmes laisse supposer que les pertes économiques globales seraient beaucoup plus élevées qu'on le prévoit généralement. Par exemple, la sécheresse de 1988 a causé des pertes à l'exportation estimées à quatre milliards de dollars,[56] et la sécheresse de 2001 devrait occasionner des débours records d'indemnités, garanties par les programmes d'assurance-récolte, qui atteindront entre 1,1 et 1,4 milliard de dollars.[6] Dans les études des répercussions économiques, on tend également à considérer globalement les grandes régions et à ne pas s'intéresser aux répercussions que subissent certains types de fermes et des collectivités particulières.[55]

Les marchés internationaux joueront également un rôle appréciable dans les répercussions économiques du changement climatique sur le secteur agricole canadien. En fait, l'incidence, sur l'agriculture canadienne, des changements qui se produisent dans les autres pays pourrait être aussi importante que les changements internes de la production agricole.[9] L'agriculture nord-américaine joue un rôle capital dans la production alimentaire mondiale et, puisque le Canada a des chances de mieux s'en tirer que beaucoup d'autres pays en ce qui a trait aux répercussions du changement climatique, les marchés internationaux devraient s'ouvrir davantage à l'économie canadienne. On peut supposer que des accords commerciaux comme l'ALENA et le GATT auront une certaine incidence sur l'agriculture canadienne,[57] mais on manque d'études quantitatives traitant de ces questions.

Adaptation

« Par le passé, le secteur agricole a montré une énorme capacité d'ajustement aux stimuli sociaux et environnementaux, qui ressemblent aux stimuli climatiques. »[10]

Pour mesurer la vulnérabilité de l'agriculture au changement climatique, il faut prendre en compte le rôle de l'adaptation. Des mesures d'adaptation appropriées peuvent réduire fortement l'ampleur des répercussions du changement climatique (*voir* l'encadré 4). Dans l'évaluation des mesures d'adaptation possibles, il faut considérer les six grandes questions suivantes :[28, 55, 58, 59]

- À quelles variables climatiques l'agriculture est-elle le plus sensible?
- Qui doit s'adapter (les producteurs, les consommateurs, l'industrie)?
- Quelles sont les mesures d'adaptation qui valent la peine d'être considérées ou mises en place?
- Quelle est la probabilité que la mesure d'adaptation soit mise en place?
- Qui prendra en charge les frais financiers?
- Quels effets aura l'adaptation sur la culture et les moyens de subsistance?

Il est également important de comprendre comment l'adaptation au changement climatique s'inscrira dans l'ensemble du processus décisionnel.[60] Le changement climatique lui-même ne sera pas un facteur directif de l'adaptation; ce seront plutôt les changements des conditions du marché et les changements de politiques qui continueront de dicter aux producteurs la décision à prendre.

Mesures d'adaptation possibles

On peut classer les mesures d'adaptation possibles dans une des quatre catégories suivantes :

- le développement technologique (p. ex., de nouvelles variétés de cultures, des innovations en gestion des eaux);
- les programmes gouvernementaux et les assurances (p. ex., les subventions à l'agriculture, les assurances privées);
- les pratiques de production agricole (p. ex., la diversification des cultures, l'irrigation);
- la gestion financière agricole (p. ex., le métayage, les programmes de stabilisation du revenu).[1]

Ces mesures d'adaptation seraient mises en place par certains groupes comme les producteurs, les organismes gouvernementaux et l'industrie agroalimentaire.[1] Ces groupes ont des priorités et des intérêts différents, parfois conflictuels. Avant de déterminer quelle mesure d'adaptation encourager ou mettre en place, il faut évaluer chacune d'elles soigneusement et en profondeur (*voir* l'encadré 5).

ENCADRÉ 4 : Quels sont les effets de l'adaptation sur les évaluations des impacts?[69]

En intégrant directement des mesures d'adaptation dans les évaluations des impacts, on a constaté que l'incidence du changement climatique sur le rendement des cultures était négligeable dans les régions agricoles du Canada. En fait, le rendement de nombreuses cultures telles que celles du soja, de la pomme de terre et du blé d'automne augmentait dans un scénario 2 x CO_2. Les mesures d'adaptation considérées dans l'étude comprenaient la fertilisation par des engrais azotés en vue de compenser les effets négatifs de l'augmentation du stress hydrique sur le blé de printemps, ainsi que l'avancement des dates de plantation de l'orge.

ENCADRÉ 5 : Évaluation des mesures d'adaptation possibles[62]

L'applicabilité et le succès des différentes mesures d'adaptation varieront fortement selon les régions et les types de fermes. Pour déterminer si une mesure d'adaptation est appropriée à une situation donnée, il faudra évaluer son efficacité, sa faisabilité économique et sa compatibilité institutionnelle. De plus, il faudra considérer les caractéristiques du producteur et de l'exploitation agricole ainsi que la nature des stimuli du changement climatique. Les contraintes économiques et politiques possibles doivent également être prises en compte.

Mais le point le plus important, c'est d'évaluer la mesure d'adaptation à adopter dans le contexte d'un processus élargi de prise de décision. Les chercheurs sont d'avis que les agriculteurs s'adapteront au changement climatique en prenant des décisions de gestion actualisées, et que c'est l'interaction des facteurs déterminants climatiques et non climatiques, plus que le changement climatique en soi, qui déterminera la mesure d'adaptation adoptée.

La recherche sur l'adaptation agricole a été principalement axée sur les pénuries d'eau. Les suggestions courantes en vue de régler les problèmes liés à l'eau comprennent l'amélioration des systèmes d'irrigation et l'ajustement des dates de plantation et des cultivars.[60, 61] Par exemple, des saisons de croissance plus longues et plus chaudes auront pour effet d'avancer les dates de plantation et de récolte, de manière à éviter les conditions extrêmement arides de la fin de l'été. Pour régler les problèmes traditionnels de pénurie d'eau dans le sud de l'Alberta, on a perfectionné les canaux d'irrigation, augmenté la capacité de stockage de l'eau et amélioré la gestion de l'irrigation.[63] Ces progrès, en plus des transferts d'eau et des changements apportés aux programmes d'assurance-récolte, sont des stratégies d'adaptation souvent suggérées pour composer avec les futurs changements de climat.

Les mesures de conservation de l'eau constituent un autre important mécanisme d'adaptation pour l'agriculture. Par exemple, grâce à la gestion de la neige, on pourrait augmenter les quantités d'eau stockées,[64] et l'entretien de l'équipement pourrait contribuer à réduire le gaspillage d'eau.[62] Les producteurs en régime d'aridoculture dans des régions qui connaissent une sécheresse chronique devront peut-être recourir à la jachère, mais ils auront intérêt à utiliser des techniques de travail minimal du sol et de jachère chimique, qui offrent des avantages certains par rapport à la mise en jachère du sol travaillé en ce qui a trait à l'érosion et à la rétention du carbone organique dans le sol.[65]

Les nouvelles espèces et les espèces hybrides pourraient occuper une place privilégiée dans l'adaptation du secteur agricole. Parmi les mesures d'adaptation fréquemment recommandées, on trouve la recherche de nouvelles variétés de cultures résistant à la chaleur et à la sécheresse. L'amélioration de l'adaptabilité des espèces agricoles au climat et aux parasites constitue un élément important de la recherche menée par les organismes fédéraux, provinciaux, universitaires et industriels.[3] On étudie également le rôle potentiel de la biotechnologie et de l'édaphon dans l'amélioration de la résilience des sols et des plantes.[3]

Dans l'est du Canada, le secteur des vergers devrait bénéficier de l'introduction de nouveaux cultivars et de nouvelles espèces[19] et, dans le sud du bassin de l'Okanagan, une saison de croissance prolongée permettrait de cultiver de nouvelles variétés de fruits.[17]

Dans les provinces de l'Atlantique, les chercheurs prévoient une plus forte dominance du maïs et du soja, et l'introduction d'hybrides de maïs couramment utilisés dans le sud de l'Ontario, en vue de tirer profit des températures plus chaudes (*voir* l'encadré 6).

On est généralement optimiste quant à la capacité des exploitations d'élevage de s'adapter à des températures plus chaudes. La distribution géographique étendue du bétail atteste son adaptabilité à différents climats.[24] Parmi les mesures d'adaptation simples à des températures plus chaudes, citons l'ajustement de l'ombrage et l'air climatisé,[24] ainsi que l'utilisation de gicleurs pour refroidir le bétail en cas de chaleur estivale excessive,[57] bien que ces stratégies risquent d'entraîner des dépenses considérables.

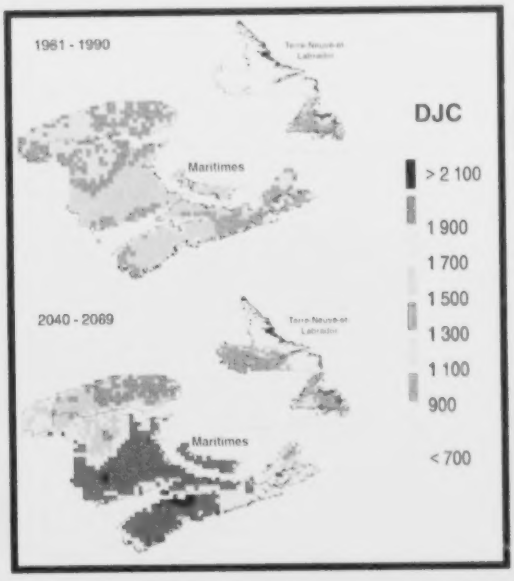
L'adaptation aux variations de l'humidité disponible et l'adaptation aux conditions extrêmes seront plus problématiques. Dans le secteur de l'élevage bovin, on a analysé des mesures qui consistent à avancer la date de mise en pacage du bétail, à augmenter le pacage intensif au début de la saison et à prolonger la saison de pâturage.[66] Le succès de ces mesures variera probablement en fonction de l'emplacement et du type de pâturage. L'introduction de nouvelles races ou espèces pourrait également jouer un rôle important dans la réduction des effets du changement climatique sur le bétail.[24] Il faut noter qu'aucune de ces mesures ne devrait atténuer efficacement les répercussions de phénomènes extrêmes semblables à la sécheresse qui a sévi dans les Prairies en 2002 et qui a forcé certains grands éleveurs à vendre une partie de leur bétail.

De saines pratiques de gestion sont essentielles à la conservation des sols et, si en plus elles sont suffisamment souples, elles contribueront à réduire au minimum les répercussions du changement climatique sur les sols agricoles.[67] Les stratégies de gestion à long terme qui visent à augmenter la matière organique du sol pour que celui-ci ait une concentration élevée en éléments nutritifs et une forte capacité de rétention d'eau, rendront le sol plus apte à supporter les futurs changements de climat.[68]

ENCADRÉ 6 : L'adaptation dans les provinces de l'Atlantique[13]

Les saisons de croissance devraient être plus longues et plus chaudes dans les provinces de l'Atlantique (*voir* la figure ci-dessous). Pour tirer profit de ces nouvelles conditions, les producteurs ajusteront probablement le choix de leurs cultures et introduiront de nouveaux hybrides. Par exemple, on développera les cultures du maïs et du soja, qui domineront, tandis qu'on réduira la culture des petites céréales. Les producteurs devront également se préparer à introduire de nouveaux hybrides de maïs, tels que ceux qu'on utilise actuellement dans le sud de l'Ontario, qui sont adaptés aux conditions plus chaudes.

Mais le réchauffement des températures n'est pas le seul paramètre de la prise de décision concernant les cultures. Les chercheurs soulignent que la culture des petites céréales ne sera probablement pas abandonnée, car celles-ci sont utiles dans la rotation des cultures avec les pommes de terre et elles fournissent de la paille de liture. Les autres facteurs à considérer sont les coûts de production, les niveaux de protéines et le rendement financier des différentes cultures, ainsi que l'adéquation du sol, les conditions d'humidité et l'influence du type de culture sur l'érosion du sol.



Projection des nombres de degrés-jour de croissance (DJC) au-dessus de 5 °C (utilise le MCGA1 du Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique, avec des aérosols)

Politiques agricoles

« La capacité des agriculteurs à s'adapter... dépendra des signaux du marché et des institutions, qui seront probablement partiellement influencés par le changement climatique. »[22]

Les politiques et les programmes gouvernementaux tels que les crédits d'impôt, le soutien à la recherche, la réglementation commerciale et les règlements sur l'assurance-récolte influeront fortement sur les pratiques agricoles.[55] Par exemple, la récente réforme de la *Loi sur le transport du grain dans l'Ouest* a contribué à augmenter la diversification des cultures dans les Prairies.[69] Les programmes et les politiques peuvent soit favoriser, soit freiner l'adaptation au changement climatique.[58] Ainsi, des chercheurs pensent que l'assurance-récolte risque de réduire la propension des agriculteurs à s'adapter.[70]

Certains trouvent que, dans les politiques destinées à encourager l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole, on devrait tenir compte de la nature dynamique des systèmes biophysiques et sociaux dans l'agriculture.[25] Il est également nécessaire de désigner des responsables de l'exécution des mesures décidées, car l'adaptation se fait à différents niveaux.[55] Un des objectifs généraux de l'élaboration des politiques devrait être d'assouplir les systèmes agricoles et d'éliminer les dispositions qui freinent l'adaptation au changement climatique.[25, 71] Il faut également encourager les mesures solides, qui améliorent le rendement et la pérennité du secteur agricole, quels que soient les effets du changement climatique.[25]

Attitude des producteurs à l'égard de l'adaptation

Les producteurs agricoles ont montré qu'ils étaient capables de s'adapter aux changements de climat et à d'autres facteurs dans le passé, et ils continueront à s'adapter. Mais la question importante est de savoir si l'adaptation de l'agriculture sera préventive ou réactive. La réponse semble dépendre en grande partie des antécédents, des attitudes et des mesures prises individuellement par les producteurs.[58]

Il ressort des entrevues de producteurs et des groupes de réflexion que, jusqu'à présent, la collectivité agricole canadienne se soucie peu du changement climatique (p. ex., références 57, 58 et 72). Cette attitude est attribuée à la confiance des producteurs

en leur capacité de s'adapter aux variations des conditions climatiques et à leur tendance à se préoccuper davantage des facteurs politiques et économiques.[58, 73] En fait, de nombreuses études ont montré que les décisions des producteurs sont influencées avant tout par leurs préoccupations financières et économiques. Cela ne veut pas dire qu'ils ne s'adapteront pas au changement climatique, mais cela suppose que cette adaptation sera secondaire par rapport à leur ajustement à d'autres problèmes, et qu'il faut la considérer comme un des éléments d'une stratégie globale de gestion du risque.[73]

Il se peut également que des événements comme la sécheresse de 2001 modifient l'attitude des producteurs à l'égard du changement climatique, en particulier s'ils les considèrent comme un avant-goût de ce que l'avenir leur réserve. Les sécheresses pluriannuelles mettent sérieusement à contribution la capacité d'adaptation du secteur agricole. Dans les ateliers qui se tiennent un peu partout dans les Prairies, il est actuellement de règle d'inclure le changement climatique dans les questions importantes et de reconnaître qu'il est temps de prendre des mesures dans ce domaine.[74]

Conséquences socio-économiques de l'adaptation

Si d'autres pays prennent des mesures pour faire face au changement climatique, le Canada devra lui aussi s'adapter s'il ne veut pas se retrouver dans une position concurrentielle désavantageuse.[55] De plus, en réussissant l'adaptation préventive de l'industrie agroalimentaire, le Canada fournirait un avantage concurrentiel aux producteurs canadiens. Mais avant de favoriser certaines mesures d'adaptation, il est nécessaire de considérer l'éventail complet de leurs effets socio-économiques. Par exemple, le passage d'une culture à une autre, qui devrait normalement augmenter la production agricole globale, ne représente pas nécessairement une solution viable sur le plan économique, en raison des problèmes de commercialisation ou des coûts d'investissement et d'exploitation plus élevés qu'il entraîne.[25] Comme plus de 98 p. 100 des fermes canadiennes sont des exploitations familiales,[5] il faut également considérer les répercussions qu'auraient ces mesures d'adaptation au changement climatique sur la culture familiale et les moyens de subsistance des agriculteurs.

Lacunes sur le plan des connaissances et besoins en matière de recherche

Nos connaissances au sujet des répercussions possibles du changement climatique sur l'agriculture canadienne se sont enrichies mais, pour mesurer rationnellement la vulnérabilité de l'agriculture au changement climatique, nous devons combler un certain nombre de lacunes importantes, particulièrement dans la connaissance du processus d'adaptation du secteur agricole. Comme c'est le cas dans les autres secteurs, on s'est surtout penché, dans le secteur agricole, sur les répercussions biophysiques du changement climatique sur l'agriculture en négligeant quelque peu les effets socio-économiques. La recherche effectuée sur les conséquences du changement climatique et l'adaptation dans le secteur de la transformation des aliments est également lacunaire. Il faut entreprendre des études de coûts intégrées, qui tiennent compte de toutes les incidences possibles du changement climatique sur le secteur et des mesures d'adaptation possibles. Ces données sont nécessaires, non seulement pour étudier les questions nationales, mais aussi pour évaluer les avantages comparés, sur les marchés mondiaux, des produits agricoles. On facilitera les comparaisons entre les études et les régions en standardisant les scénarios de changement climatique et les modèles de production agricole. La recherche doit également déterminer les obstacles que dresse l'adaptation dans le secteur de l'agriculture et les moyens de les surmonter. L'utilisation accrue des nouvelles technologies dans l'évaluation de la vulnérabilité de l'agriculture au changement climatique permettra de combler plus facilement ces lacunes.

La recherche agricole doit également se concentrer sur la détermination des seuils. Le secteur agricole a montré sa grande capacité d'adaptation, mais cette adaptation implique une série bien précise de conditions climatiques. Des nouvelles mesures d'adaptation permettront peut-être d'élargir quelque peu cette série, mais il existe des seuils climatiques au-delà desquels les activités ne sont plus viables sur le plan économique et exigent des changements substantiels dans les pratiques utilisées. En délimitant plus précisément ces seuils grâce à notre savoir, nous serons plus à même d'élaborer les stratégies d'adaptation appropriées.

En matière de production agricole primaire, les besoins qui ressortent de la littérature récente citée dans le présent chapitre s'établissent comme suit :

Impacts

1) Études cherchant surtout à comprendre les répercussions, sur les cultures et le bétail, des variations de la fréquence des conditions extrêmes plutôt que les impacts des variations des conditions moyennes.

2) Meilleure compréhension des variations possibles des régimes éoliens et de leurs effets sur la production agricole.

3) Études concernant les effets du changement climatique sur la croissance et la distribution des mauvaises herbes, des insectes et des agents pathogènes, et intégration de ces données dans les évaluations des impacts du changement climatique.

4) Études plus complètes concernant les impacts du changement climatique sur différents types de fermes et sur différentes régions au Canada.

5) Analyse des effets du changement climatique et de la fertilisation par le CO_2 sur les pâturages et les herbages.

6) Meilleure compréhension du rôle des marchés internationaux dans la détermination des impacts économiques du changement climatique sur le Canada.

Adaptation

1) Études en vue de fixer les responsabilités en matière d'exécution, en déterminant quelles mesures d'adaptation conviennent aux différents groupes (p. ex., producteurs, industrie et gouvernement).

2) Meilleure compréhension de conséquences physiques et socio-économiques des différentes mesures d'adaptation possibles.

3) Étude des effets des accords commerciaux et autres sur l'encouragement à l'adaptation (ou à la non-adaptation) au changement climatique.

4) Études pour établir le rôle de l'adaptation dans la prise de décision à l'échelle de l'exploitation agricole, de l'industrie et du gouvernement.

5) Meilleure compréhension des mécanismes visant à accroître la capacité générale d'adaptation du secteur de l'agriculture.

Conclusion

Des températures plus chaudes, des saisons de croissance plus longues et des concentrations de CO_2 plus élevées devraient, dans l'ensemble, bénéficier à l'agriculture canadienne, mais la diminution de l'humidité du sol, des phénomènes climatiques extrêmes plus fréquents, une plus forte dégradation du sol et l'augmentation des populations de ravageurs pourraient neutraliser ces avantages. Il faut s'attendre à des gains nets dans certaines régions et à des pertes nettes dans d'autres. Plusieurs facteurs provoqueront des variations régionales : la nature du changement climatique, les caractéristiques du système de production ou de l'exploitation agricole et la réaction des différents groupes.

Des mesures d'adaptation appropriées permettront de réduire fortement la vulnérabilité globale de l'agriculture au changement climatique. Ces mesures nécessiteront la participation de plusieurs groupes, notamment des producteurs individuels, des organismes gouvernementaux, l'industrie agroalimentaire et les établissements de recherche. Le secteur de l'agriculture a toujours fait preuve d'une grande capacité d'adaptation aux changements environnementaux et sociaux, en y réagissant sainement. Cependant, pour prémunir le secteur contre le changement climatique, il faut recourir à l'adaptation préventive, c'est-à-dire, par exemple, accroître la capacité d'adaptation par la diversification et par le développement de nouvelles technologies. Mais l'adaptation préventive exige également de lourds investissements de la part des producteurs et de l'industrie agroalimentaire.

Références

Les références en caractères gras désignent des rapports portant sur des travaux financés dans le cadre du Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada.

(1) Smit B. et M.W. Skinner. « Adaptation options in agriculture to climate change: a typology », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 7, 2002, pp. 85-114.

(2) Agriculture et Agroalimentaire Canada. *Vue d'ensemble du circuit agroalimentaire*, 1999. Rédigé par la Direction de l'économie et des politiques, Direction générale des politiques. Disponible en ligne à http://www.agr.gc.ca/policy/epad/english/pubs/afodeck/ovryueng.pdf (accès en juillet 2002).

(3) Agriculture et Agroalimentaire Canada. *Canada's agriculture, food and beverage industry: overview of the sector*, 2002a. Disponible en ligne à http://ats-sea.agr.ca/supply/e3314.pdf (accès en juillet 2002).

(4) Statistique Canada. *Recensement de l'agriculture de 2001 : Les exploitations agricoles canadiennes au 21e siècle, diffusion complète*, 2002. Disponible en ligne à http://www.statcan.ca/english/agcensus2001/index.htm (accès en juin 2002).

(5) Agriculture et Agroalimentaire Canada. *All about Canada's agri-food industry…*, publication 1916E, 2000.

(6) Agriculture et Agroalimentaire Canada. *The 2001 drought situation: implications for Canadian agriculture*, 2002b. Disponible en ligne à http://www.agr. gc.ca/secheresse/summ_e.html (accès en mai 2002).

(7) Environnement Canada. *Les dix principaux événements météorologiques de 2001 selon Dave Phillip*, 2002. Disponible en ligne à http://www.ec.gc.ca/Press/2001/011227_n_e.htm (accès en février 2002).

(8) Albritton, D.L. et L.G.M. Filho. « *Technical Summary* », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail I au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 21-84. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en juillet 2002).

(9) Brklacich, M., C. Bryant, B. Veenhof et A. Beauchesne. *Répercussions du changement climatique mondial sur l'agriculture canadienne : Revue et évaluation de la recherche entre 1984 et 1997. En réaction au changement climatique mondial : Questions sectorielles*, G. Koshida et W. Avis (éd.), 1998. Environnement Canada, *L'étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, vol. VII, pp. 219-256.

(10) Gitay, H., S. Brown, W. Easterling et B. Jallow. « Ecosystems and their goods and services », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 735-800. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en juillet 2002).

(11) McGinn, S.M., A. Toure, O.O. Akinremi, D.J. Major et A.G. Barr. « Agroclimate and crop response to climate change in Alberta, Canada », *Outlook on Agriculture*, vol. 28, no 1, 1999, pp. 19-28.

(12) Singh, B., M. El Maayar, P. André, C.R. Bryant et J.P. Thouez. « Impacts of a GHG-induced climate change on crop yields: effects of acceleration in maturation, moisture stress and optimal temperature », *Climatic Change*, vol. 38, no 1, 1998, pp. 51-86.

(13) **Bootsma, A., S. Gameda, D.W. McKenny, P. Schut, H.N. Hayhoe, R. de Jong et E.C. Huffman. *Adaptation of agricultural production to climate change in Atlantic Canada*, 2001. Rapport final présenté au Fonds d'action pour le changement climatique. Disponible en ligne à http://res2.agr.ca/ecorc/staff/boots ma/report.pdf (accès en juillet 2002).**

(14) **Brklacich, M. et P. Curran. *Impacts of climatic change on agriculture: an evaluation of impact assessment procedures*, 2002. Rapport inédit présenté au Fonds d'action pour le changement climatique.**

(15) **McGinn, S.M., A. Shepherd et O. Akinremi. *Assessment of climate change and impacts on soil moisture and drought on the Prairies*, 2001. Rapport final présenté au Fonds d'action pour le changement climatique.**

(16) **Nyirfa, W.N. et B. Harron. *Assessment of climate change on the agricultural resources of the Canadian Prairies*, 2002. Rapport présenté au Collectif des Prairies pour la recherche en adaptation.**

(17) **Neilsen, D., S. Smith, W. Koch, J. Hall et P. Parchomchuk. *Impact of climate change on crop water demand and crop suitability in the Okanagan Valley, British Columbia*, 2001. Rapport final présenté au Fonds d'action pour le changement climatique.**

(18) Reinert, R.A., G. Eason, G. et J. Barton. « Growth and fruiting of tomato as influenced by elevated carbon dioxide and ozone », *The New Phytologist*, vol. 137, 1997, pp. 411-420.

(19) **Bélanger, G., P. Rochette, A. Boostma, Y. Castonguay et D. Mongrain. *Impact of climate change on risk of winter damage to agricultural perennial plants*, 2001. Rapport final présenté au Fonds d'action pour le changement climatique.**

(20) Wheeler, T.R., P.Q. Craufurd, R.H. Ellis, J.R. Porter et P.V. Vara-Prasad. « Temperature variability and the yield of annual crops », *Agriculture Ecosystems and Environment*, vol. 82, nos 1-3, 2000, pp. 159-67.

(21) Williams, G.D.V. et E.E. Wheaton. « Estimating biomass and wind erosion impacts for several climatic scenarios: a Saskatchewan case study », *Prairie Forum*, vol. 23, n° 1, 1998, pp. 49-66.

(22) Cohen, S. et K. Miller. « North America », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, changement climatique*, Cambridge University Press, pp. 735-800. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en juillet 2002).

(23) Dhakhwa, G.B. et C.L. Campbell. « Potential effects of differential day-night warming in global climate change on crop production », *Climatic Change*, vol. 40, n° 3-4, 1998, pp. 647-667.

(24) Rötter, R. et S.C. van de Geijn. « Climate change effects on plant growth, crop yield and livestock », *Climatic Change*, vol. 43, n° 4, 1999, pp. 651-681.

(25) Rosenzweig, C. et D. Hillel. *Climate change and the global harvest: potential impacts of the greenhouse effect on agriculture*, New York (New York), Oxford University Press, 1998, p. 352.

(26) National Drought Mitigation Center. *Drought in the United States: August 1–17, 1998*, 1998. Disponible en ligne à http://enso.unl.edu/ndmc/impacts/us/usaug98.htm (accès en juillet 2002).

(27) Faulk, K. « Cooling fails; heat wave kills 100,000 chickens », *The Birmingham News*, 9 juillet 2002.

(28) Adams, R.M., B.H. Hurd et J. Reilly. *Agriculture and global climate change: a review of impacts to U.S. agricultural resources*; Arlington (Virginie), Pew Center on Global Climate Change, 1999. Disponible en ligne à http://www.pewclimate.org/projects/env_agriculture.cfm (accès en juin 2002).

(29) Campbell, B.D., D.M. Stafford Smith et les membres du réseau GCTE Pastures and Rangelands. « A synthesis of recent global change research on pasture and rangeland production: reduced uncertainties and their management implications », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 82, n° 1-3, 2000, pp. 39-55.

(30) Owensby, C.E., J.M. Ham, A.K. Knapp et L.M. Auen. « Biomass production and species composition change in a tallgrass prairie ecosystem after long-term exposure to elevated atmospheric CO_2 », *Global Change Biology*, vol. 5, n° 5, 1999, pp. 497-506.

(31) Riedo, M., D. Gyalistras, A. Fischlin et J. Fuhrer. « Using an ecosystem model linked to GCM derived local weather scenarios to analyse effects of climate change and elevated CO_2 on dry matter production and partitioning, and water use in temperate managed grasslands », *Global Change Biology*, vol. 5, n° 2, 1999, pp. 213-223.

(32) Rustad, L.E., J.L. Campbell, G.M. Marion, R.J. Norby, M.J. Mitchell, A.E. Hartley, J.H.C. Cornelissen et J. Gurevitch. « A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming », *Oecologia*, vol. 126, n° 4, 2001, pp. 543-562.

(33) White, T.A., B.D. Campbell, P.D. Kemp et C.L. Hunt. « Impacts of extreme climatic events on competition during grassland invasions », *Global Change Biology*, vol. 7, n° 1, 2001, pp. 1-13.

(34) Teel, G. « Alberta may put price tag on water: dwindling supply brings radical ideas », *The Calgary Herald*, 9 avril 2002, p. A1.

(35) Kerry, M., G. Kelk, D. Etkin, I. Burton et S. Kalhok. « Glazed over: Canada copes with the ice storm of 1998 », *Environment*, vol. 41, n° 1, 1999, pp. 6-11, 28-33.

(36) Paustian, K., E.T. Elliott, K. Killian et B.A. Stewart. « Modeling soil carbon in relation to management and climate change in some agroecosystems in central North America », dans *Soil Processes and the Carbon Cycle*, R. Lal, J.M. Kimble et R.F. Follett (éd.), Boca Raton (Floride), CRC Press Inc., 1998, pp. 459-471.

(37) Wolters, V., W.L. Silver, D.E. Bignell, D.C. Coleman, P. Lavelle, W.H. VanderPutten, P. DeRuiter, J. Rusek, D.H.Wall, D.A.Wardle, L. Brussaard, J.M. Dangerfield, V.K. Brown, K.E. Giller, D.U. Hooper, O. Sala, J. Tiedje et J.A. VanVeen. « Effects of global changes on above- and below-ground biodiversity in terrestrial ecosystems: implications for ecosystem functioning », *Bioscience*, vol. 50, n° 12, 2000, pp. 1089-1098.

(38) Lee, J.J., D.L. Phillips et V.W. Benson. « Soil erosion and climate change: assessing potential impacts and adaptation practices », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 54, n° 3, 1999, pp. 529-536.

(39) Lemmen, D.S., R.E. Vance, I.A. Campbell, P.P. David, D.J. Pennock, D.J. Sauchyn et S.A. Wolfe. *Geomorphic systems of the Palliser Triangle, southern Canadian Prairies: description and response to changing climate*, Commission géologique du Canada, bulletin 521, 1998, 72 p.

(40) Sauchyn, D.J. et A.B. Beaudoin. « Recent environmental change in the southwestern Canadian Plains », *Le Géographe canadien*, vol. 42, n° 4, 1998, pp. 337-353.

(41) Bullock, M.S., F.J. Larney, R.C. Izaurralde et Y. Feng. « Overwinter changes in wind erodibility of clay loam soils in Southern Alberta », *Soil Science Society of America Journal*, vol. 65, 2001, pp. 423-430.

(42) Shriner, D.S. et R.B. Street. « North America », dans *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*, R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss et D.J. Dokken (éd.), 1998. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, New York (New York).

(43) Awmack, C.S., C.M. Woodcock et R. Harrington. « Climate change may increase vulnerability of aphids to natural enemies », *Ecological Entomology*, vol. 22, 1997, pp. 366-368.

(44) Dukes, J.S. et H.A. Mooney. « Does global change increase the success of biological invaders? », *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 14, 1999, pp. 135-139.

(45) Wittmann, E.J. et M. Baylis. « Climate change: effects on Culicoides-transmitted viruses and implications for the UK », *Vet-j*, Londres, Balliere Tindall, vol. 160, nº 2, 2000, pp. 107-117.

(46) Holliday, N.J. *Summary of presentation*, Conférence Agroalimentaire 2000, Winnipeg (Manitoba), 2000.

(47) Coakley, S.M., H. Scherm et S. Chakraborty. « Climate change and plant disease management », *Annual Reviews in Phytopathology*, vol. 37, 1999, pp. 399-426.

(48) Chakraborty, S., A.V. Tiedemann et P.S. Teng. « Climate change: potential impact on plant diseases », *Environmental Pollution*, vol. 108, nº 3, 2000, pp. 317-326.

(49) Patterson, D.T., J.K. Westbrook, R.J.V. Joyce, P.D. Lingren et J. Rogasik. « Weeds, insects, and diseases », *Climatic Change*, vol. 43, nº 4, 1999, pp. 711-727.

(50) Scherm, H., R.W. Sutherst, R. Harrington et J.S.I. Ingram. « Global networking for assessment of impacts of global change on plant pests », *Environmental Pollution*, vol. 108, nº 3, 2000, pp. 333-341.

(51) Johnson, D.L. *2002 grasshopper forecast for the Canadian prairies*, 2002. Disponible en ligne à http://res2.agr.ca/lethbridge/scitech/dlj/forecast_feb4_2002full.pdf (accès en juillet 2002).

(52) Wolfe, S.A. et W.G. Nickling. *Sensitivity of eolian processes to climate change in Canada*, Commission géologique du Canada, bulletin 421, 1997, 30 p.

(53) Chen, C.C. et B.A. McCarl. « An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change », *Climatic Change*, vol. 50, nº 4, 2001, pp. 475-487.

(54) **Archambault, D.J., X. Li, D. Robinson, J.T. O'Donovan et K.K. Klein. *The effects of elevated CO_2 and temperature on herbicide efficacy and weed/crop competition*, 2002. Rapport rédigé pour le Collectif des Prairies pour la recherche en adaptation.**

(55) **Smit, B. *Agricultural adaptation to climate change*, 2000. Rapport inédit présenté au Fonds d'action pour le changement climatique.**

(56) Herrington, R., B.N. Johnson et F.G. Hunter. *Responding to global climate change in the Prairies*, 1997. Environnement Canada, *Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, vol. III, 75 p.

(57) Chiotti, Q., T. Johnston, B. Smit, B. Ebel et T. Rickard. « Agricultural response to climatic change: a preliminary investigation of farm-level adaptation in southern Alberta », dans *Agricultural Restructuring and Sustainability: A Geographical Perspective*, B. Ilbery et Q. Chiotti (éd.), Sustainable Rural Development Series, nº 3, 1997, pp. 201-218.

(58) Bryant, C.R., B. Smit, M. Brklacich, J. Smithers, Q. Chiotti et B. Singh. « Adaptation in Canadian agriculture to climatic variability and change », *Climatic Change*, vol. 45, nº 1, 2000, pp. 181-201.

(59) Dzikowski, P. « Adaptation and risk management strategies for agriculture », dans *Risks and Opportunities from Climate Change for the Agricultural Sector*, 2001. Rapport final, atelier du C-CIARN sur l'agriculture, 28 mars 2001.

(60) **de Jong, R., A. Bootsma, T. Huffman et G. Roloff. *Crop yield variability under climate change and adaptive crop management scenarios*, 1999. Rapport de projet final présenté au Fonds d'action pour le changement climatique.**

(61) **Skinner, M.W., B. Smit, A.H. Dolan, B. Bradshaw et C.R. Bryant. *Adaptation options to climate change in Canadian agriculture: an inventory and typology*, Université de Guelph, Département de géographie, publication hors-série nº 25, 2001, 36 p.**

(62) **Dolan, A.H., B. Smit, M.W. Skinner, B. Bradshaw et C.R. Bryant. *Adaptation to climate change in agriculture: evaluation of options*, Université de Guelph, Département de géographie, publication hors-série nº 26, 2001, 51 p.**

(63) de Loë, R., R. Kreutzwiser et L. Moraru. *Climate change and the Canadian water sector: impacts and adaptation*, 1999. Rapport inédit rédigé pour Ressources naturelles Canada, mai 1999.

(64) Gan, T.Y. « Reducing vulnerability of water resources of the Canadian Prairies to potential droughts and possible climatic warming », *Water Resources Management*, vol. 14, nº 2, 2000, pp. 111-135.

(65) Wadsworth, R. et R. Swetnam. «Modelling the impact of climate warming at the landscape scale: will bench terraces become economically and ecologically viable structures under changed climates? », *Agriculture Ecosystems and Environment*, vol. 68, nºs 1-2, 1998, pp. 27-39.

(66) **Cohen, R.D.H., C.D. Sykes, E.E. Wheaton et J.P. Stevens. *Evaluation of the effects of climate change on forage and livestock production and assessment of adaptation strategies on the Canadian Prairies*, 2002. Rapport présenté au Collectif des Prairies pour la recherche en adaptation.**

(67) Rounsevell, M.D.A., S.P. Evans et P. Bullock. « Climate change and agricultural soils: impacts and adaptation », *Climatic Change*, vol. 43, 1999, pp. 683-709.

(68) Matson, P.A., W. J. Parton, A.G. Power et M.J. Swift. « Agricultural intensification and ecosystem properties », *Science*, vol. 277, 1997, pp. 504-509.

(69) Campbell, C.A., R.P. Zentner, S. Gameda, B. Blomert et D.D. Wall. « Production of annual crops on the Canadian Prairies: trends during 1976–1998 », *Revue canadienne de la science du sol*, vol. 82, 2002, pp. 45-57.

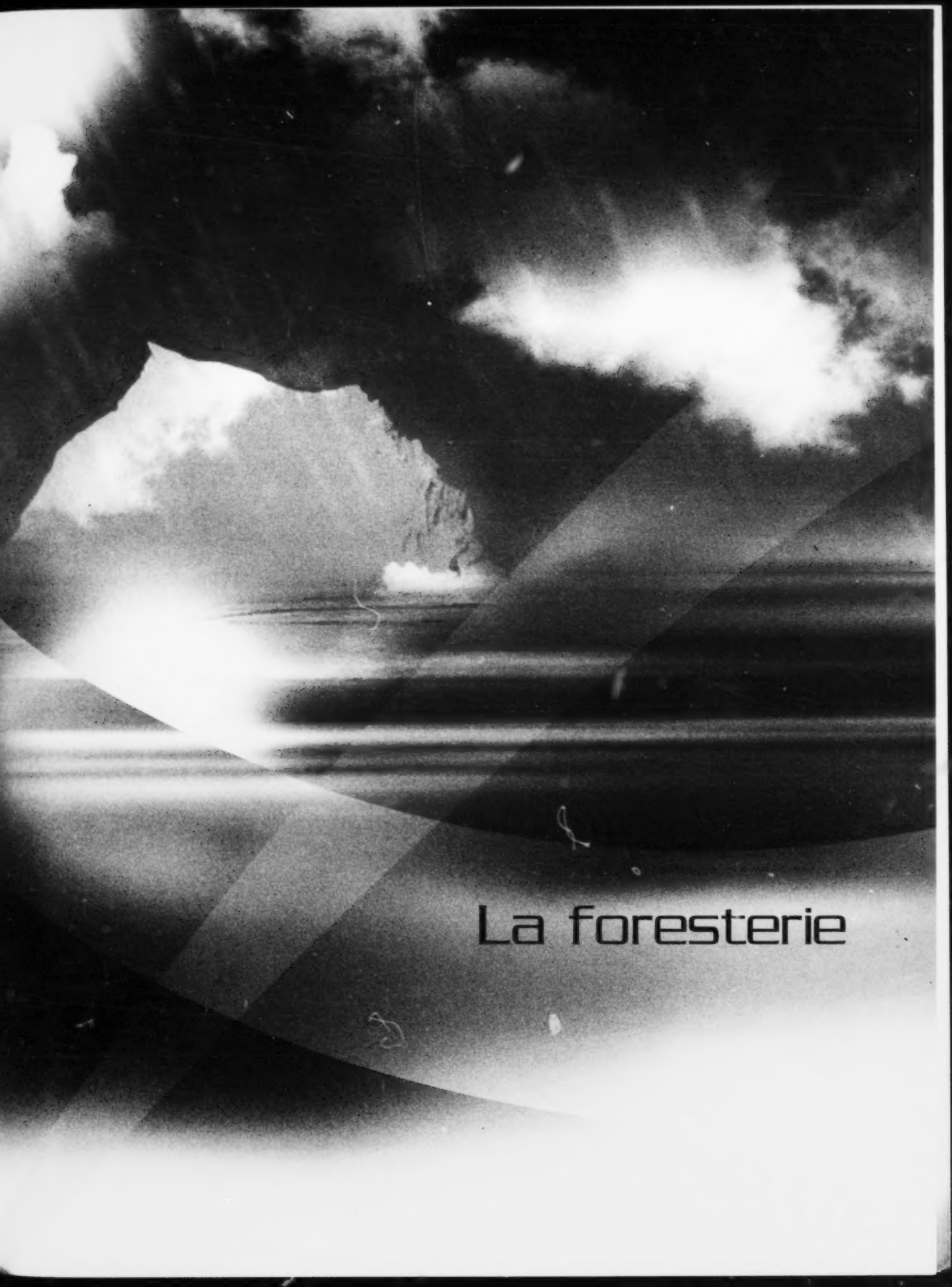
(70) Smithers, J. et B. Smit. « Human adaptation to climatic variability and change », *Global Environmental Change*, vol. 73, n° 3, 1997, pp.129-146.

(71) Lewandrowski, J. et D. Schimmelpfennig. « Economic implications of climate change for U.S. agriculture: assessing recent evidence », *Land Economics*, vol. 75, n° 1, 1999, pp. 39-57.

(72) Brklacich, M., D. McNabb, C. Bryant, J. Dumanski, B. Ilbery, Q. Chiotti et T. Rickard. « Adaptability of agricultural systems to global climate change: a Renfrew County, Ontario, Canada pilot study », dans *Agricultural Restructuring and Sustainability: A Geographical Perspective*, B. Ilbery et Q. Chiotti (éd.), Sustainable Rural Development Series, n° 3, 1997, pp. 185-200.

(73) **André, P. et C. Bryant. *Les producteurs agricoles face aux changements climatiques : une évaluation des stratégies d'investissement des producteurs de la Montérégie-ouest (Québec)*, 2001. Rapport de recherche présenté au Fonds d'action pour le changement climatique.**

(74) Bennett, J. *Climate change and agriculture in the Prairies*, 2002. Document présenté à l'atelier de synthèse sur l'adaptation et sur les impacts du changement climatique sur les provinces des Prairies, 21 et 22 mars, Regina (Saskatchewan).


La foresterie

« Pendant des siècles, la forêt a constitué un élément fondamental de la société, de la culture et de l'économie du Canada et elle continuera d'occuper une partie très importante de nos vies. »[1]

Le Canada contient plus de 400 millions d'hectares de régions boisées, qui représentent presque la moitié de notre masse continentale et environ le dixième de la couverture forestière mondiale.[1] Les forêts constituent donc un élément vital de l'économie et de la culture de notre pays. La forêt boréale, qui est le type de forêt dominant, s'étend sur toute la largeur du pays (*voir* la figure 1).

De nombreuses collectivités canadiennes dépendent étroitement du secteur forestier qui, en 2000, assurait un emploi direct à plus de 370 000 Canadiens.[1]

Approximativement 51 p. 100 des 234,5 millions d'hectares de forêts d'intérêt commercial au Canada (territoires forestiers susceptibles de produire des espèces d'arbres commerciales qui peuvent être exploitées de façon durable) sont actuellement aménagés pour la production de bois.[1] La récolte annuelle couvre un territoire forestier d'environ un million d'hectares et sert principalement à la production de bois d'œuvre, de contreplaqué, de bois de placage, de pâte de bois et de papier journal.[1] Les produits forestiers non ligneux jouent également un rôle dans l'économie canadienne.

FIGURE 1 : Distribution des types de forêts au Canada[1]

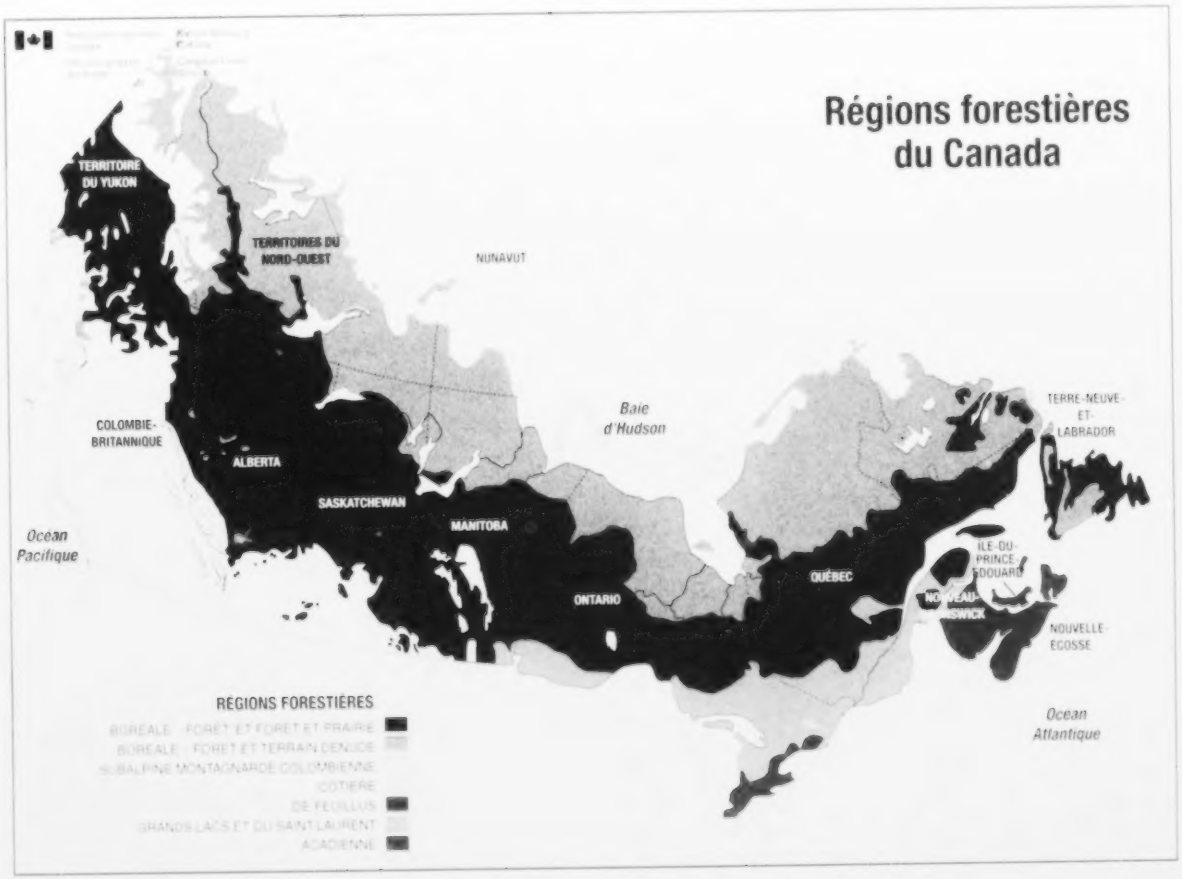
« Pendant des siècles, la forêt a constitué un élément fondamental de la société, de la culture et de l'économie du Canada et elle continuera d'occuper une partie très importante de nos vies. »[1]

Le Canada contient plus de 400 millions d'hectares de régions boisées, qui représentent presque la moitié de notre masse continentale et environ le dixième de la couverture forestière mondiale.[2] Les forêts constituent donc un élément vital de l'économie et de la culture de notre pays. La forêt boréale, qui est le type de forêt dominant, s'étend sur toute la largeur du pays (*voir* la figure 1).

De nombreuses collectivités canadiennes dépendent étroitement du secteur forestier qui, en 2000, assurait un emploi direct à plus de 370 000 Canadiens.[3]

Approximativement 51 p. 100 des 234,5 millions d'hectares de forêts d'intérêt commercial au Canada (territoires forestiers susceptibles de produire des espèces d'arbres commerciales qui peuvent être exploitées de façon durable) sont actuellement aménagés pour la production de bois.[4] La récolte annuelle couvre un territoire forestier d'environ un million d'hectares et sert principalement à la production de bois d'œuvre, de contreplaqué, de bois de placage, de pâte de bois et de papier journal.[5] Les produits forestiers non ligneux jouent également un rôle dans l'économie canadienne.

FIGURE 1 : Distribution des types de forêts au Canada[1]



Mais les forêts présentent également de nombreux avantages non commerciaux. Elles ont une valeur esthétique et permettent la tenue de nombreuses activités récréatives telles que le camping, la randonnée pédestre et la motoneige. De plus, les forêts ralentissent l'érosion, améliorent la qualité de l'air et de l'eau, et offrent un habitat à plus de 90 000 espèces de plantes, d'animaux et de micro-organismes.[1] Les forêts constituent en outre un élément vital de la culture et du patrimoine autochtones, fournissant de la nourriture, des plantes médicinales et des ressources à de nombreuses collectivités des Premières nations et des Métis.

Le climat est l'une des variables qui influent sur la distribution des forêts, sur leur santé et leur productivité, et particulièrement sur les régimes de perturbation. Selon le troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la température moyenne mondiale de l'air en surface devrait augmenter de 1,4 à 5,8 °C d'ici 2100,[2] ce qui aura des conséquences notables sur tous les éléments du système climatique mondial. L'impact net de ces changements climatiques sur la foresterie et les collectivités qui en sont tributaires au Canada dépendra de toute une série d'effets biophysiques et socio-économiques positifs et négatifs. Jusqu'à présent, la recherche au Canada et à l'étranger a surtout porté sur la réaction au changement climatique des espèces et des écosystèmes, pris individuellement. On s'est peu intéressé, par contre, aux effets sociaux et économiques potentiels du changement climatique sur le secteur forestier canadien. Le présent chapitre reflète ces tendances et souligne les effets biophysiques potentiels du changement climatique sur les forêts tout en insistant sur l'importance d'agir sur les effets socio-économiques de ce changement.

En plus de subir les effets du changement climatique, les forêts subiront le stress causé par d'autres changements liés à l'activité humaine et aux processus naturels. Compte tenu de ces variables et des limites imposées par les incertitudes planant sur les modèles climatiques – surtout en ce qui concerne les futurs changements des modèles de précipitations –, il est difficile de prévoir les effets du changement climatique sur les forêts, à l'échelle régionale et locale. Des travaux de recherche sont en cours dans ce domaine, mais il est essentiel, pour la planification de la gestion des ressources forestières, de connaître la vulnérabilité des forêts et des pratiques de foresterie au changement climatique. Une adaptation appropriée permettra de réduire les effets négatifs du changement climatique tout en offrant au secteur la possibilité de saisir d'éventuelles nouvelles occasions.

Travaux antérieurs

« Le changement climatique risque d'influencer énormément la santé future des écosystèmes forestiers canadiens. »[3]

Dans le sommaire du travail de recherche qu'ils ont effectué dans le contexte de l'Étude pancanadienne, Saporta *et al.*[4] concluent que le changement climatique aura toute une série d'effets sur les forêts canadiennes. Dans l'ensemble, les températures plus élevées augmenteront les taux de croissance, tandis que l'augmentation de la fréquence et de l'intensité du stress hydrique et des perturbations subies par les forêts créera des problèmes dans certains domaines. Les concentrations élevées de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère auront aussi une influence sur les forêts, car elles accroîtront le rendement de l'utilisation de l'eau par certaines plantes, ce qui pourrait entraîner une productivité accrue des forêts. La nature et l'ampleur des effets varieront en fonction de facteurs tels que le type de forêt, son emplacement et les caractéristiques de ses espèces. Par exemple, les forêts des régions continentales devraient connaître un plus grand stress de sécheresse tandis que, dans les régions côtières, les dommages causés par les vents violents et les tempêtes seront plus importants.

Le rythme et la nature du changement climatique seront significatifs, particulièrement pour ce qui est de la distribution des espèces. Le réchauffement de la température entraînera le déplacement des espèces vers le nord et les altitudes plus élevées. Les espèces vivant près des limites inférieures des aires de distribution actuelles et celles dont les mécanismes de dispersion sont limités seront sans doute les plus affectées par ces migrations et certaines disparaîtront peut-être, localement.

L'industrie forestière pourrait devoir adapter ses activités aux nouvelles conditions. Parmi les mesures d'adaptation possibles, citons les nouvelles technologies, l'introduction de nouvelles espèces d'arbres et le déplacement des activités forestières. Le succès de ces mesures d'adaptation pourrait être fortement influencé par le rythme et l'ampleur du changement climatique et par l'endroit concerné.

Impacts

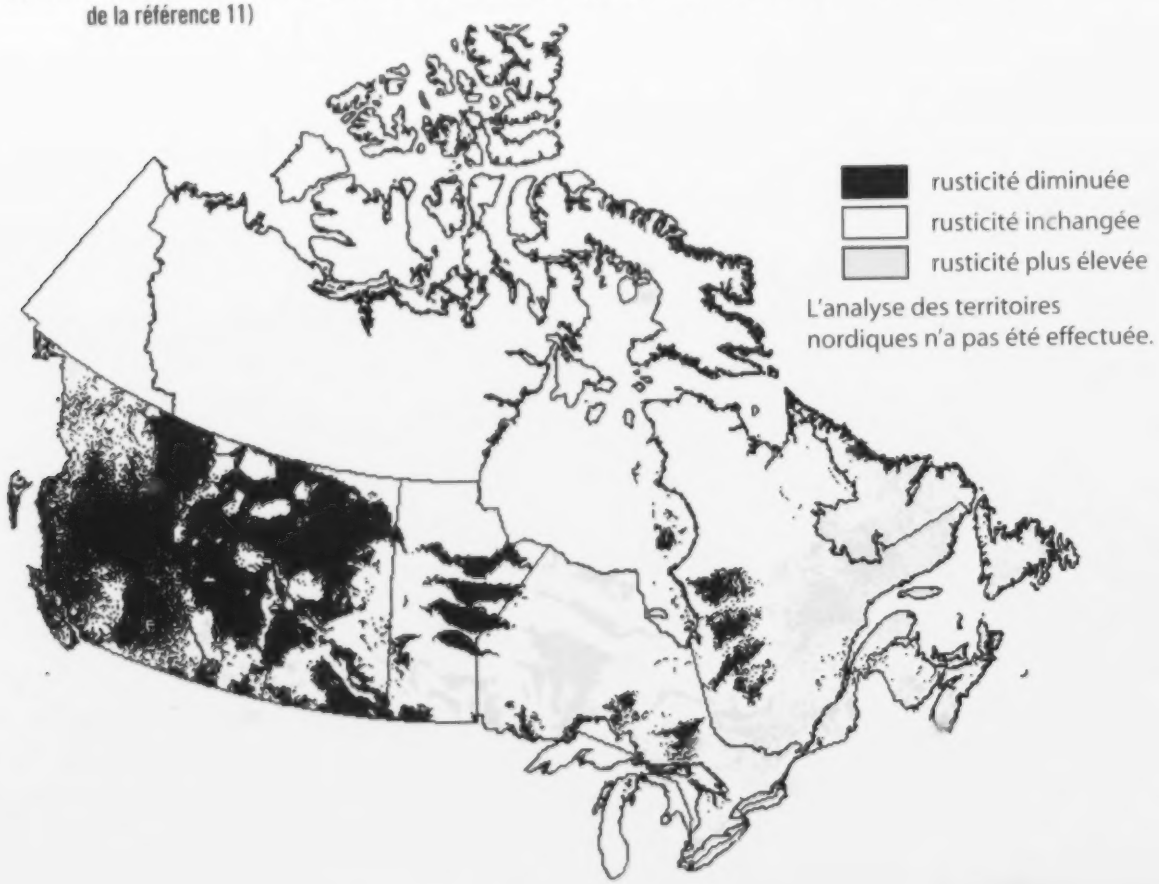
Impacts sur la croissance et sur la santé des forêts

« Les changements de conditions climatiques influeront sur tous les indicateurs de productivité des forêts et sur leur capacité à fournir des biens et services aux économies humaines. »[5]

Selon les chercheurs, même de petits changements de température et de précipitations pourraient avoir d'importantes répercussions sur la croissance et la survie des forêts,[6] surtout aux limites des écosystèmes et dans les régions limitrophes. Au cours du siècle dernier, le Canada s'est réchauffé de 1 °C en moyenne.[7] En même temps, la croissance des plantes aux latitudes moyennes et hautes (45 °N et 70 °N) s'est accélérée, et la saison de croissance s'est allongée.[8] Le réchauffement a également influé sur la phénologie des arbres. Par exemple, à Edmonton, en Alberta, le peuplier faux-tremble a commencé progressivement à fleurir plus tôt, au cours des 100 dernières années, pour atteindre une précocité de 26 jours,[9] tandis qu'en Ontario, le débourrement de l'épinette blanche semble également plus précoce.[10] Les zones de rusticité paraissent aussi s'être transformées à la suite des changements climatiques récents, principalement dans l'ouest du Canada (*voir* la figure 2).[11]

Les modèles climatiques prévoient que le réchauffement le plus marqué se produira pendant les mois d'hiver. Cette tendance est d'ailleurs perceptible dans l'évolution du climat de la plus grande partie du pays. Au cours du dernier siècle, par exemple, dans les montagnes Rocheuses canadiennes, la hausse des températures en hiver a doublé par rapport au même phénomène au printemps et en été.[12] Des températures plus élevées en hiver auront sur les forêts des effets positifs, comme un moindre bris des brindilles,[13] et des effets négatifs, comme un plus grand risque de dommages dus au gel.[10] Les hivers plus chauds permettront à certains insectes

FIGURE 2 : Modifications des zones de rusticité des plantes entre 1930 et 1960, et entre 1961 et 1990 (extrait modifié tiré de la référence 11)



nuisibles d'y survivre, tandis que d'autres périront en raison de la diminution de la couverture de neige.[14]

La hausse des températures hivernales augmentera peut-être la fréquence et la durée des périodes de dégel en plein hiver, ce qui aggravera les dommages aux pousses et le dépérissement terminal des arbres (*voir* les références 15 et 16; *voir aussi* l'encadré 1). La diminution de la couverture de neige activera également le dépérissement terminal des arbres à cause du déchaussage, du soulèvement des jeunes plants[17] et de l'exposition des racines à de plus nombreux cycles de gel-dégel.[18]

Les changements de configuration des températures et des précipitations, occasionnés par le changement climatique, auront des répercussions sur les conditions d'humidité régnant dans les forêts. Lorsque la température augmente, la perte d'eau par évapotranspiration augmente, ce qui rend les conditions plus sèches. Les températures plus chaudes tendent également à diminuer le rendement de l'utilisation de l'eau par les plantes. Dans certaines régions du Canada, l'augmentation des précipitations aiderait à compenser la sécheresse causée par les températures plus chaudes.[20] Dans d'autres régions, par contre, la diminution des précipitations accentuerait le stress hydrique causé par le réchauffement. Les changements dans le cycle saisonnier des précipitations et l'existence de phénomènes extrêmes tels que la sécheresse et les fortes pluies joueront également un rôle important. Par exemple, l'analyse dendrométrique du peuplier faux-tremble, dans l'ouest du Canada, révèle que le ralentissement de la croissance des anneaux est associé à des périodes de sécheresse, tandis que les pics de croissance sont consécutifs à des périodes froides et humides.[18]

Les caractéristiques et la structure des classes d'âge des forêts sont déterminantes dans la manière dont les forêts réagissent aux changements des conditions d'humidité. Les peuplements mûrs ont des systèmes radiculaires bien établis et sont, de ce fait, moins sensibles aux changements d'humidité que les jeunes peuplements et les peuplements qui ont eu lieu après des perturbations, du moins à court terme.[5] De plus, certaines espèces et variétés tolèrent davantage l'humidité ou la sécheresse que d'autres. Par exemple, le chêne à gros fruits et le sapin du Colorado tolèrent mieux les conditions sèches que la plupart des autres espèces.[21]

Dans de nombreuses études, on a examiné les effets des concentrations élevées de CO_2 sur la croissance et la santé des forêts, mais les résultats obtenus ne sont

ENCADRÉ 1 : Le dégel hivernal menace-t-il le bouleau jaune?[19]

Dans les études de la documentation sur le déclin à grande échelle du bouleau jaune constaté dans l'est du Canada, on explique partiellement ce dépérissement par le dégel hivernal et le gel tardif de printemps. Le dégel hivernal diminue la résistance au froid du bouleau, augmentant sa vulnérabilité. La photographie ci-dessous montre l'effet du dégel hivernal sur les jeunes plants de bouleau. Le dégel hivernal peut également entraîner la rupture du xylème du bouleau jaune, rendant plus difficile le cheminement de l'eau des racines jusqu'aux branches. Les futurs changements climatiques devraient entraîner des dégels hivernaux plus fréquents et plus longs, ce qui fait craindre une aggravation du dépérissement du bouleau jaune.

Photo : Gracieuseté de R.M. Cox.

L'effet du dégel sur le dépérissement des pousses. La photo supérieure montre les pousses de référence (gardées à l'abri du dégel), tandis que la photo inférieure montre les jeunes plants de bouleau jaune qui ont été exposés au dégel.

ni clairs ni concluants.[5] Les chercheurs reconnaissent généralement que des concentrations plus élevées de CO_2 améliorent le rendement de l'utilisation de l'eau par certaines plantes (dans ces circonstances, les plantes ouvrent moins grand leurs stomates et perdent donc moins d'eau par transpiration), mais les résultats obtenus varient en ce qui concerne les effets globaux sur la croissance des plantes. Par exemple, on a découvert que des concentrations plus élevées de CO_2 accéléraient la croissance de différentes espèces de peupliers,[22, 23] mais qu'elles avaient peu d'effet sur la croissance du sapin de Douglas,[24] du tremble et de l'érable à sucre.[25] Cette différence dans les résultats peut provenir des espèces étudiées, de l'âge individuel des arbres, de la durée de l'étude et des différentes méthodes utilisées. Il faut également savoir que, selon certains chercheurs, la réaction positive des plantes à des augmentations de concentrations de CO_2 pourrait décroître avec le temps à mesure que les plantes s'acclimateront aux concentrations élevées de CO_2.[5]

Les incertitudes qui entourent la réaction des arbres aux concentrations élevées de CO_2 ne facilitent pas l'intégration de ce facteur dans les évaluations d'impacts. Et la possibilité que d'autres émissions anthropiques influenceront la croissance des plantes crée d'autres complications. Par exemple, on a constaté que l'ozone (O_3), un polluant qui cause des dommages visibles aux arbres,[26] annule les effets bénéfiques que peut avoir le CO_2 sur la productivité des forêts.[26, 27] Par contre, certains suggèrent que les oxydes d'azote, libérés pendant la combustion des combustibles fossiles et l'agriculture intensive, peuvent favoriser la croissance des forêts,[28] surtout dans les écosystèmes faibles en azote. Une autre étude montre que ces facteurs favorables à la croissance (la fertilisation par le CO_2, le dépôt d'azote) n'auraient en réalité qu'une influence minime sur la croissance des plantes, par comparaison à d'autres facteurs, en particulier l'utilisation des terres.[29]

Dans l'ensemble, il ressort que les effets du changement climatique sur la croissance et la santé des forêts varieront suivant les régions et seront influencés par la composition des espèces, les conditions de l'endroit et le microclimat local.[12] Dans les forêts de trembles de l'ouest du Canada, la productivité des forêts augmenterait peut-être, grâce à la prolongation des périodes sans gel et à l'augmentation des concentrations de CO_2,[18] bien qu'une augmentation concomitante du stress de sécheresse risque de créer des problèmes. La productivité dans le nord-est de l'Ontario pourrait également augmenter sous les effets combinés de la hausse des températures, des précipitations plus abondantes et de la prolongation de la saison de croissance.[30] Par contre, quelques chercheurs croient que les écosystèmes des forêts de la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent pourraient souffrir des conséquences du réchauffement climatique sur la physiologie et la santé des forêts.[31]

Impacts sur la migration des espèces d'arbres et le déplacement des écosystèmes

« Nos écosystèmes forestiers seront dans un état de transition en réaction au changement climatique, dont les impacts sont principalement négatifs. »[32]

Le changement climatique pourrait engendrer des modifications subtiles et irrégulières de la distribution des espèces.[5] Les espèces d'arbres réagiraient au changement de conditions en migrant, comme ce fut le cas lors des changements climatiques antérieurs. On se demande toutefois si le taux rapide des futurs changements climatiques ne va pas contrecarrer la capacité de reproduction et de dispersion de certaines espèces.[33, 34] D'autres stress, tels que les obstacles à la dispersion (fragmentation des habitats) et la compétition des espèces exotiques,[35, 36, 37] risquent de freiner la migration, tandis que les changements de rythme et de taux de production des semences pourraient limiter les taux de migration.[34]

On émet généralement l'hypothèse qu'à mesure que le climat se réchauffera, les arbres migreront vers le nord et vers des altitudes plus élevées. Le réchauffement des 100 dernières années a déplacé en altitude la limite des arbres dans les Rocheuses canadiennes centrales.[12] Mais la température n'est pas le seul facteur à agir sur la distribution des espèces, et il ne faut pas considérer isolément les changements de température. D'autres facteurs, notamment les caractéristiques du sol, la présence d'éléments nutritifs et les régimes des perturbations, peuvent jouer un rôle plus important que la température dans la future dynamique des écosystèmes. La limite méridionale de la forêt boréale, par exemple, paraît être déterminée davantage par la compétition des espèces[38] et les conditions d'humidité[39] que par la tolérance des espèces aux températures. Et les conditions d'humidité jouent aussi un rôle important dans la distribution du peuplier faux-tremble dans l'ouest du Canada.[40]

Prévoir les futurs changements de la distribution des espèces est une tâche extrêmement ardue, et les résultats des différentes études effectuées à ce sujet varient fortement. Les prévisions auxquelles ont abouti 11 éminents écologistes qui ont étudié les taux de migration dans les forêts septentrionales varient de quatre ordres de grandeur.[41] Ces variations résultent probablement du fait que les prévisions dérivent souvent de modèles qui procèdent d'un certain nombre de suppositions. Ainsi, dans de nombreux modèles, on suppose que les semences de toutes les espèces sont uniformément réparties et que les conditions environnementales ne varient pas d'une région à l'autre, ce qui mène à des surestimations de la diversité et des taux de migration futurs des espèces.[42] Les modèles ne tiennent pas compte non plus de l'aide que les humains peuvent apporter à la migration des espèces. Il ne faut donc voir, dans les prévisions modélisées, qu'une indication des tendances, sans en tirer des conclusions chiffrées.[43]

Le tableau 1 donne la liste des principaux résultats auxquels ont abouti des recherches récentes dans lesquelles on a combiné les tendances historiques ou les simulations climatiques avec les modèles d'écosystèmes.

Il importe de retenir que les espèces réagiront individuellement au changement climatique et que les écosystèmes ne se déplaceront pas comme des unités cohérentes. Les espèces les plus vulnérables seront sans doute celles qui ne tolèrent que de faibles écarts de température et qui se caractérisent par une croissance lente[49] et des paramètres de dispersion limitatifs, tels que la lourdeur de leurs semences.[45] C'est ainsi que le peuplier faux-tremble, dont les paramètres de dispersion sont meilleurs que ceux du chêne rouge et du pin gris,[50] pourrait migrer plus facilement en réaction au changement climatique. La réaction différente des espèces aux émissions anthropiques pourrait également influer sur leur

TABLEAU 1 : Résultats des récentes recherches sur la migration des forêts

Région	Scénario	Principales prévisions
Ouest de l'Amérique du Nord[44]	Augmentation composée de 1 p. 100 par année de la concentration de CO_2	• Modification des aires de distribution dans toutes les directions (N./S./E./O.) • Impacts considérables sur les écosystèmes • Changements dans la diversité des espèces
Ontario[45]	Scénario 2 x CO_2	• Les forêts de type Grands Lacs occuperont la plus grande partie du centre de l'Ontario • Les espèces pyrophiles (p. ex., pin gris et tremble) se répandront • Peu de forêts de vieux peuplements subsisteront • Des extinctions locales se produiront
Limite des arbres du Canada central[46]	Réchauffement graduel de la température (basé sur l'analyse historique)	• Augmentation initiale de la croissance et du recrutement • Délai considérable entre le réchauffement et l'expansion de la forêt boréale vers le nord
Nouvelle-Angleterre (États-Unis)[47]	Scénario 2 x CO_2	• Écotone stable sans dépérissement • Migration vers le nord de l'écotone à un rythme de moins de 100 m par 100 ans
Nord du Wisconsin (États-Unis)[48]	Réchauffement graduel au cours des 100 prochaines années	• Perte des espèces de la forêt boréale dans 200 à 300 ans
Est des États-Unis[35]	Scénario 2 x CO_2	• Changements importants dans la distribution des types de forêts • Disparition des forêts de type épicéa-sapin en Nouvelle-Angleterre • Déclin marqué des forêts de type érable-hêtre-bouleau • Augmentation marquée des forêts de type chêne-pin

capacité compétitive,[51] ce qui risque d'avoir des répercussions considérables sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers.[49]

Impacts sur les perturbations

« L'augmentation de perturbations telles que les infestations d'insectes et les incendies peuvent entrainer de rapides changements structuraux et fonctionnels des forêts. »[5]

Chaque années, environ 0,5 p. 100 des forêts canadiennes subissent d'importantes perturbations causées par les incendies, les insectes et les maladies.[1] Ces perturbations sont souvent fortement influencées par les conditions météorologiques, et on s'attend généralement à ce qu'elles s'amplifient à l'avenir sous l'effet du changement climatique prévu.[4]

Il est probable que l'interaction des perturbations produira des effets cumulatifs. Par exemple, une augmentation du stress de sécheresse pourrait augmenter la fréquence et l'ampleur des invasions d'insectes et des épidémies.[30] De même, une plus forte défoliation due à l'invasion d'insectes pourrait augmenter le risque de feux de friches.[52] Dans l'encadré 2, on décrit l'interaction de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et des feux de friches en Ontario. En plus des dommages causés aux arbres, les changements de régime des perturbations auraient des conséquences à long terme sur les écosystèmes forestiers, comme la modification de la structure d'âge et de la composition des populations végétales.[30]

Feux de forêt

« Il faut s'attendre à une augmentation du risque de feux de forêt dans la plupart des régions... »[5]

Le phénomène des feux de forêt est naturel et bénéfique à la santé de nombreux écosystèmes forestiers. En fait, sans feux de forêt, certaines espèces d'arbres et certains écosystèmes de la forêt boréale seraient condamnés.[54] Mais les feux peuvent également causer d'énormes dommages aux forêts et avoir d'importantes incidences matérielles; la fumée et les cendres qu'ils produisent peuvent causer des problèmes de santé,

ENCADRÉ 2 : Interaction de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et des feux de friches en Ontario

La prolifération de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et les feux de friches sont deux perturbations très répandues dans la forêt boréale. Fleming *et al.*[53] ont examiné les données historiques en vue d'étudier l'interaction de ces perturbations en Ontario et de prévoir l'influence des futurs changements climatiques sur cette interaction. La prolifération de la tordeuse des bourgeons de l'épinette est censée augmenter la probabilité des feux de friches en augmentant le volume de matière morte provenant des arbres, qui sert de combustible aux feux de friches. Les chercheurs ont découvert qu'un nombre inhabituel de feux de friches avaient éclaté entre trois et neuf ans après des périodes de prolifération de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la tendance étant plus marquée dans les régions plus sèches telles que l'ouest de l'Ontario, où les matières combustibles du bois ont tendance à se décomposer plus lentement. Selon les conclusions de l'étude, des conditions plus sèches résultant du changement climatique entraîneraient une augmentation des feux de friches dans les peuplements sujets à la défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, ainsi qu'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des périodes de prolifération de cet insecte nuisible.

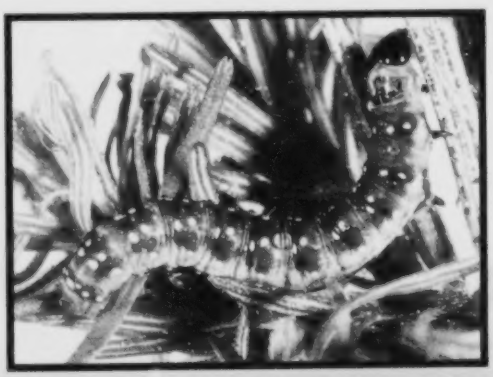


Photo : Gracieuseté de T. Arcand, Centre de foresterie des Laurentides, Service canadien des forêts.

La tordeuse des bourgeons de l'épinette : vue dorso-latérale d'une larve mature

localement et même à distance, et les évacuations forcées, provoquées par les feux, entraînent une foule de répercussions sociales et économiques. En moyenne, les pertes matérielles dues aux feux de forêt ont dépassé sept millions de dollars par an entre 1990 et 2000, tandis que les dépenses de protection contre l'incendie se sont chiffrées en moyenne à 400 millions de dollars par an.[55] Dans les études qui ont été menées, on s'accorde généralement pour reconnaître que la fréquence des feux, dans la forêt boréale, et la superficie totale brûlée ont augmenté au cours des 20 à 40 dernières années.[56, 57, 58] Mais les résultats divergent dans les études qui ont porté sur de plus longues périodes, certaines concluant à des diminutions,[59,60] d'autres à des augmentations[61] de ces paramètres, selon les périodes et les endroits étudiés et selon la méthodologie utilisée. Il faut également noter que, si les grands feux de forêt (consumant des superficies de forêts supérieures à 1 000 hectares) ne représentent que 1,4 p. 100 des feux de forêt au Canada, ils comptent pour 93,1 p. 100 de la superficie totale brûlée.[55] Il faut donc être prudent lorsqu'on essaie de comparer les études en examinant les différences de fréquence des feux et de superficie brûlée.

Dans l'ensemble, selon les prévisions, les dégâts causés par les feux de forêt devraient augmenter à l'avenir sous l'effet du changement climatique (*voir* le tableau 2), pour les raisons suivantes : l'allongement de la saison des feux, les conditions plus sèches et l'augmentation du nombre d'orages.[62, 63]

La plupart des études menées sur le changement climatique et les feux de forêt dégagent une relative incertitude, en raison surtout de notre connaissance limitée concernant les futurs changements de configuration des précipitations. Dans le cas de précipitations plus abondantes, la fréquence des feux de forêts changera peu ou pourrait même diminuer.[31] Les études montrent également que le temps chaud et la sécheresse n'impliquent pas nécessairement une saison de feux destructrice. On l'a constaté en 2001 : malgré la chaleur et la sécheresse extrêmes qu'on a connues, la fréquence des feux de friches a baissé et la superficie totale brûlée a été la moins étendue jamais enregistrée.[69] Le type de végétation influencera les changements de fréquence et d'intensité des futurs feux. Par exemple, les feux de conifères seront probablement plus intenses que ceux des forêts décidues ou des forêts mixtes. Et la migration des espèces, en réaction au changement climatique, modifiera également le comportement des feux en modifiant les types de combustibles.[70] Parmi les autres facteurs qui influeront sur les saisons des feux, citons le vent, la fréquence des éclairs, les conditions d'humidité avant les feux et les mécanismes de gestion des feux.

TABLEAU 2 : Prévisions des feux de forêt

Région	Prévision
Forêt boréale orientale[59]	• Diminution du nombre de feux de forêt à l'avenir (prévision basée sur l'analyse historique)
Canada[64]	• Augmentation du danger de feu de forêt • Forte variabilité régionale (prévision basée sur l'indice de danger de feu de forêt)
Ouest du Canada[58]	• Augmentation de l'intensité et de l'étendue des feux de forêt (prévision basée sur les prévisions du MCR[1])
Amérique du Nord[65]	• Augmentation générale de l'activité des feux de forêt • Peu de changements et même diminution dans certaines régions (prévision basée sur la prévision 2 x CO_2 du MCG[2])
Alberta[66]	• Augmentation de la fréquence des feux (prévision basée sur la prévision 2 x CO_2 du MCG)
Forêt boréale du sud-ouest du Québec[67]	• Baisse de la fréquence des feux (prévision basée sur la prévision 2 x CO_2 du MCG)
Ontario[68]	• Augmentation de la fréquence et de l'intensité des feux de forêt (prévision basée sur l'indice de danger de feu de forêt)
Canada[62]	• Augmentation de l'activité des feux • Allongement de la saison des feux • Agrandissement de la zone de danger extrême de feux (prévision basée sur la prévision 2 x CO_2 du MCG)

[1] MCR, modèle climatique régional
[2] MCG, modèle de circulation générale

Prolifération des insectes

« La prolifération des insectes constitue un problème majeur au Canada, où les pertes de bois d'œuvre qui résultent de leur dévastation dépassent les pertes causées par le feu. »[71]

Dans certaines régions, la défoliation opérée par les insectes nuisibles constitue le facteur de contrôle le plus important de la croissance des arbres.[72] La réaction des insectes au changement climatique sera sans doute rapide, au point que de petits changements climatiques pourront entraîner des répercussions importantes. Les insectes ont un cycle de vie court, et ils se déplacent et se reproduisent facilement, ce qui leur permet de s'adapter rapidement à de nouvelles conditions et de tirer promptement profit des nouvelles possibilités.[14]

Les températures plus élevées seront généralement bénéfiques aux insectes, car elles accéléreront leur développement, étendront leurs zones d'activité et augmenteront leur taux de survie à l'hiver.[14] Par exemple, les insectes nuisibles qui ne posent actuellement pas de problème dans la majeure partie du Canada pourront migrer vers le nord à la faveur du réchauffement du climat. Des conditions plus chaudes raccourciront sans doute les cycles de prolifération des espèces telles que la tordeuse des bourgeons de pin gris, augmentant la fréquence des infestations,[73] et elles prolongeront la survie des insectes nuisibles tels que le dendroctone du pin qui meurt, par temps très froid, à la fin de l'automne et au début du printemps.[74] Toutefois, l'augmentation de la fréquence de phénomènes météorologiques extrêmes et la diminution de la couverture de neige en hiver pourraient réduire le taux de survie des insectes.[14]

Le changement climatique se répercutera peut-être indirectement sur la perturbation des forêts par les insectes nuisibles. Par exemple, des conditions de sécheresse prolongées – tout comme l'instabilité des écosystèmes causée par la migration des espèces – accroîtront peut-être la sensibilité des arbres à la défoliation par les insectes.[3] Et les augmentations prévues des émissions anthropiques (de CO_2 et d'O_3, par exemple) affaibliront encore la défense des arbres contre les insectes et les maladies.[26, 75] L'incidence du changement climatique sur la prolifération des insectes se traduira par la modification de l'abondance des populations de leurs ennemis, symbiotes et compétiteurs. Par exemple, un temps plus chaud aura des répercussions différentes sur les taux de développement des hôtes et des parasitoïdes,[34] de même que sur la gamme des prédateurs et des proies des insectes.[76] Une telle situation pourrait modifier la dynamique des écosystèmes en réduisant les contrôles biologiques qui s'exercent sur certaines populations d'insectes nuisibles.

Phénomènes météorologiques extrêmes

La fréquence et la violence des phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les vents violents, les tempêtes hivernales et la foudre, devraient augmenter par suite du changement climatique.

L'impact des phénomènes météorologiques extrêmes sur les forêts et le secteur de l'aménagement forestier a été clairement démontré lors de la tempête de verglas qui a frappé l'est de l'Ontario, le sud du Québec et certaines régions des Maritimes en 1998. Les dommages causés par cette tempête, dans certaines parties du Québec, se comparent à ceux des vents violents et des ouragans les plus destructeurs enregistrés n'importe où dans le monde.[77] Les impacts économiques à long terme de cette tempête sont manifestes dans l'industrie du sucre d'érable, car presque 70 p. 100 de la région productrice canadienne a souffert de cette tempête.[78] Les chercheurs en sont encore à quantifier les coûts réels de cette catastrophe.[79] Les tempêtes de verglas ne sont pas des phénomènes rares, mais l'intensité, la durée et l'étendue de celle de janvier 1998 sont exceptionnelles.[78] Quoi qu'il en soit, ces tempêtes risquent d'être de plus en plus fréquentes à l'avenir si les hivers s'adoucissent.[3]

Des phénomènes ponctuels tels que les tornades et les rafales descendantes, ou des vents violents accompagnant les tempêtes peuvent également causer des dommages. Dans la région des Grands Lacs, les rafales descendantes engendrent des perturbations importantes qui peuvent s'étendre sur des milliers d'hectares, entraînant des impacts immédiats et à long terme.[80] Les chablis peuvent être causés par des vents violents, capables de détruire des forêts à grande échelle.

C'est ainsi qu'une tempête violente qui a eu lieu en 1994 au Nouveau-Brunswick a fauché 30 millions d'arbres, causant des pertes de 100 millions de dollars.[81] Le fait qu'un arbre soit cassé net ou qu'il soit complètement déraciné par les vents violents dépend de paramètres tels que sa hauteur, le fait qu'il est vivant ou mort à ce moment-là et la densité de la forêt.[82] Les phénomènes éoliens font parfois subir d'autres dommages aux forêts, comme les feux et la prolifération des insectes. Ainsi, les chercheurs ont trouvé que les zones de chablis favorisent la reproduction du dendroctone de l'épinette.[83]

Le réchauffement du climat peut favoriser les phénomènes éoliens violents, mais il existe une grande incertitude à cet égard.[84] Vu que ces phénomènes sont locaux et que les phénomènes éoliens sont généralement mal connus, il n'existe pas, à l'heure actuelle, de modélisation prospective fiable de la fréquence des événements de cette nature.[80]

Impacts sociaux et économiques

Les impacts biophysiques du changement climatique sur les forêts se traduiront par de nombreux effets sociaux et économiques (*voir* le tableau 3) qui toucheront les entreprises forestières, les propriétaires terriens, les consommateurs, les gouvernements et l'industrie touristique.[85]

L'importance des impacts socio-économiques tels que ceux mentionnés dans le tableau 3 dépendra de la nature et du rythme du changement climatique; de la réaction des écosystèmes forestiers; de la sensibilité des collectivités aux impacts du changement climatique et des politiques d'atténuation implantées en réaction au changement climatique; des caractéristiques économiques des collectivités concernées; et de la capacité d'adaptation du groupe concerné.[86]

Les exportations forment une partie importante de l'industrie forestière canadienne; elles se sont chiffrées à 47,4 milliards de dollars en 2001.[1] Le changement climatique pourrait toucher plus fortement la productivité des forêts canadiennes que celle de nombreux autres pays si un réchauffement plus important se produisait dans les régions à haute latitude.[87] Mais étant donné l'incertitude qui entoure l'amplitude et même le sens de ces impacts, il est extrêmement difficile d'évaluer la future capacité concurrentielle du Canada sur les marchés internationaux. Si la croissance des forêts canadiennes devait s'accélérer et la production de bois augmenter,[88] et si une pénurie mondiale de bois d'œuvre devait se faire sentir comme prévu, à cause de la croissance démographique et économique,[89] l'industrie forestière canadienne pourrait en tirer profit. Le changement climatique suscitera peut-être le besoin de modifier les politiques commerciales internationales et les prix des produits forestiers[90] qui, à l'heure actuelle, sont généralement basés sur l'a priori d'un climat stable.

Les Premières nations sont très préoccupées par les impacts du changement climatique sur les forêts canadiennes.[91] Étant donné que plus de 90 p. 100 des réserves sont situées dans des régions boisées, les forêts jouent un rôle économique et culturel essentiel pour plusieurs collectivités des Premières nations.[1] Les impacts prévus du changement climatique sur les forêts – particulièrement en ce qui concerne l'augmentation des perturbations et la migration des espèces – pourraient menacer la pérennité de certaines de ces collectivités.

TABLEAU 3 : Exemples d'impacts socio-économiques du changement climatique[85]

Impacts physiques	Impacts socio-économiques
Changements dans la productivité des forêts	Changements de la production de bois d'œuvre et de la valeur locative
Augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère	Introduction de politiques d'atténuation du crédit-permis de carbone qui créent un marché de séquestration du carbone
Augmentation des perturbations	Perte de produits forestiers et de biens non commerciaux
Déplacement des écozones vers le nord	Changements dans la valeur des terres et dans les options d'utilisation des terres
Changements climatiques et écosystémiques	Restructuration économique engendrant des tensions sociales et individuelles et d'autres pathologies sociales
Changements des écosystèmes et des espèces spécialisées	Changements dans les valeurs non commerciales
Changements des écosystèmes	Désintégration des parcs et des réserves naturelles, accroissement des différends sur l'utilisation des terres

Adaptation

« De nombreuses activités d'aménagement forestier liées à l'adaptation au changement climatique font déjà partie de nos activités courantes. Dans le contexte du changement climatique, c'est la localisation de ces problèmes et leur intensité qui changeront et mettront à contribution la capacité du secteur à s'adapter. »[92]

Les espèces d'arbres réagiront individuellement au changement climatique par la migration ou par des changements physiologiques, mais l'adaptation du secteur forestier prendra bien des formes. Certains gestionnaires préféreront voir venir, réagissant aux changements au fur et à mesure qu'ils se présenteront, mais il faudra se concentrer sur l'adaptation planifiée, qui consiste à prévoir les changements et à adapter en conséquence les pratiques forestières (p. ex., sylviculture et récolte).

L'adaptation préventive tient compte du changement climatique dans le processus de planification. Elle est particulièrement importante dans le cas de longues phases de rotation des cultures,[93] car les espèces sélectionnées aujourd'hui doivent pouvoir non seulement résister aux futurs climats, mais croître dans ces nouvelles conditions.[94] Bien que l'adaptation préventive vise à limiter les pertes dues au changement climatique, il est difficile de l'intégrer dans l'aménagement forestier car on ne sait pas quand, où et comment se produiront les changements.[95, 96] Les incertitudes concernant les futurs changements de configuration des précipitations et les conséquences qu'ils auront sur la productivité et le régime des perturbations sont particulièrement embarrassantes. Pour résoudre ce problème et encourager l'intégration du changement climatique dans la prise de décision en aménagement forestier, certains préconisent d'utiliser des modèles de simulation,[93] tandis que d'autres proposent l'intensification de la communication entre les chercheurs et les gestionnaires forestiers (*voir* l'encadré 3).

L'aménagement des forêts a beaucoup d'influence sur la croissance, la santé et la composition de celles-ci.[98] On considère généralement que les forêts qui sont aménagées sont moins vulnérables aux impacts du changement climatique que les autres en raison de leur possibilité d'adaptation.[5] De plus, les forêts aménagées ont des caractéristiques qui les rendent plus aptes à résister aux perturbations. Par exemple, pendant la tempête de verglas de 1998, les arbres fruitiers des vergers aménagés avec soin ont subi beaucoup moins de dommages que les forêts moins structurées d'érables à sucre.[78] Les activités d'aménagement, telles que les coupes de récupération subséquentes, peuvent aussi réduire l'importance des dommages à long terme causés par des perturbations comme les tempêtes de verglas.[99]

ENCADRÉ 3 : Promouvoir l'adaptation dans l'industrie forestière[97]

Les entrevues et les ateliers auxquels ont assisté des représentants du secteur de l'aménagement forestier ont permis de découvrir des moyens de faciliter l'adaptation au changement climatique. Les principales conclusions de ces réunions sont les suivantes :

- Il faut obtenir plus d'informations scientifiques sur les impacts du changement climatique.
- Les échelons – dans l'espace et dans le temps – auxquels on présente les résultats de la recherche doivent être utiles à la planification de la gestion forestière.
- Il est nécessaire de créer des mécanismes de communication pour pouvoir transmettre les informations sur le changement climatique.
- Les gestionnaires forestiers doivent participer à la détermination des mesures d'adaptation.

Le message clair qui se dégage de ces réunions porte sur l'urgent besoin d'améliorer la communication entre la communauté scientifique et la communauté chargée de l'aménagement forestier. Cette amélioration est cruciale si l'on veut faciliter l'élaboration de stratégies d'adaptation efficaces.

Le maintien de la santé et de la biodiversité des forêts constitue un mécanisme d'adaptation important, basé sur les initiatives existantes de gestion durable des forêts telles que celles énumérées dans le tableau 4. Les critères de la gestion durable des forêts, qui sont précisés dans le Processus de Montréal de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, comprennent la conservation de la biodiversité, le maintien de la productivité des forêts, la sauvegarde de la santé des écosystèmes forestiers et la conservation des ressources en sols et en eau.[100] Dans l'ensemble, les forêts aménagées en fonction de ces critères seraient moins vulnérables aux perturbations et, par conséquent, plus résilientes au changement climatique. Par exemple, on a remarqué que, après avoir subi des perturbations causées par les insectes, les peuplements en bonne santé récupéraient mieux et plus rapidement que les peuplements soumis au stress,[72] et que le maintien de la biodiversité et de l'intégrité forestière favorisait la migration des espèces.[43]

TABLEAU 4 : Initiatives de gestion durable des forêts

Programme ou initiative	Objet
Stratégie nationale sur les forêts du Canada	Présenter une stratégie de gestion durable des forêts à l'échelle nationale
Système de certification forestière de l'Association canadienne de normalisation	Évaluer l'application des pratiques de gestion durable des forêts par les entreprises et les organismes gouvernementaux
Entente sur la mise en valeur des ressources forestières	Engager les entreprises à se conformer aux ententes attribuant des volumes et des responsabilités de gestion forestière (p. ex., replantation, protection des habitats)

Il est possible d'intégrer efficacement l'adaptation au changement climatique dans l'aménagement durable des forêts, et cela permettra de mesurer les impacts potentiels du changement climatique et des processus d'adaptation à ce changement au regard des critères de durabilité énoncés précédemment, de la même manière que les gestionnaires mesurent actuellement les impacts des activités de gestion telles que les calendriers de récolte et la construction des routes. Ainsi, on pourra proposer des mesures d'adaptation au changement climatique qui cadreront avec les systèmes existants de planification de l'utilisation des terrains forestiers, plutôt que de les considérer isolément.

Dans certains cas, pour favoriser la conservation de la durabilité des forêts, les gestionnaires forestiers préconiseront la régénération des forêts, qui consiste à replanter des espèces indigènes ou à introduire de nouvelles espèces, y compris des souches exotiques et hybrides. Certains ont suggéré d'utiliser la régénération assistée dans les forêts boréales méridionales de l'ouest du Canada, si les conditions de sécheresse devaient compromettre la capacité des conifères à se régénérer naturellement.[101] Dans les forêts de pin du littoral de la Colombie-Britannique, il faudra peut-être redistribuer les génotypes à travers le paysage si l'on veut maintenir la productivité des forêts à l'avenir.[6] De nombreux problèmes sont liés à l'utilisation d'espèces non indigènes, le plus important concernant les conséquences imprévisibles, comme l'infestation d'insectes ou la perte d'espèces indigènes due à de nouvelles interactions compétitives.

Les gestionnaires forestiers peuvent également aider la migration des espèces en introduisant des essences soigneusement sélectionnées dans les régions situées au-delà de leurs aires de distribution actuelles. Dans certains cas, comme celui de l'écozone de transition boréale, les forêts apporteront peut-être une solution écologiquement et économiquement viable à l'agriculture marginalement productive.[102] On pourrait installer une nouvelle couverture forestière dans cette région en procédant par la succession végétative des forêts naturelles ou en plantant des essences commerciales.[102] Tout comme la régénération assistée par l'homme, la migration assistée soulève de nombreuses questions dues en grande partie aux résultats imprévisibles.

Dans certains cas, la biotechnologie pourrait jouer un rôle important dans l'adaptation au changement climatique. Par exemple, en ajoutant ou en enlevant un gène ou plusieurs gènes à une espèce, les scientifiques pourraient créer des souches mieux adaptées à des conditions particulières telles que la sécheresse et résistant mieux à des menaces potentielles telles que la prolifération d'insectes et la propagation de maladies.[103] On peut également créer des hybrides végétaux en poursuivant les mêmes objectifs. C'est ainsi qu'on a introduit avec succès des peupliers hybrides dans l'ouest du Canada.[104]

Faire face aux perturbations

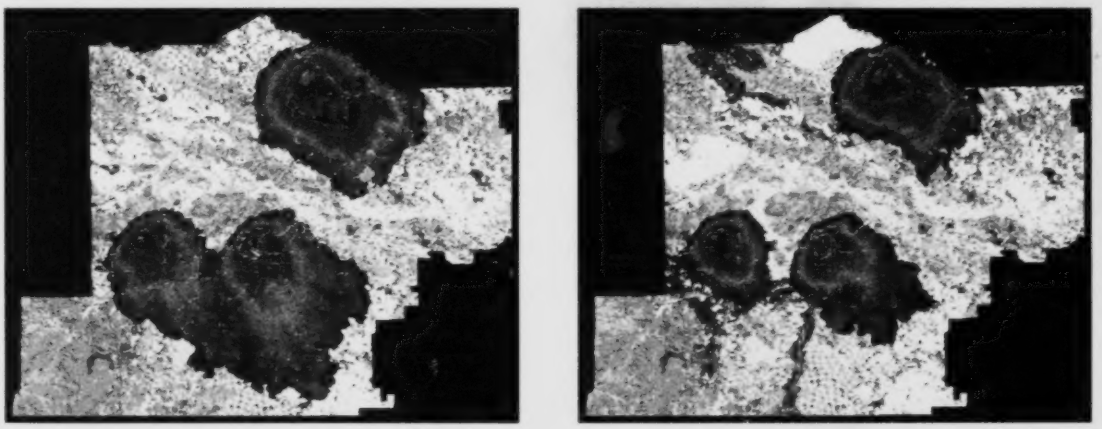
« Les pertes dues au dépérissement possible des forêts et à la modification des régimes d'inflammabilité et d'infestation par les insectes, ainsi qu'au stress de sécheresse dans certaines régions, risquent de mettre à contribution la capacité adaptative de l'industrie. »[92]

L'ajustement aux changements des régimes de perturbations constituerait un des aspects importants de l'adaptation au changement climatique. On insiste toujours sur l'augmentation de la fréquence des perturbations, mais leur diminution nécessiterait aussi une adaptation. Ainsi, l'allongement du cycle des feux, dans l'est du Canada, augmenterait le nombre de peuplements surâgés et vieux, ce qui impliquerait l'adoption de nouvelles pratiques de gestion.[59]

Dans les endroits où la fréquence des feux augmenterait, la priorité de la protection demanderait des ajustements afin que les incendies ne s'étendent pas à de zones plus petites, de grande valeur.[62] Les résultats de travaux effectués récemment dans les Prairies permettent de conclure à l'intérêt de protéger de tels endroits en créant des « paysages intelligents » (*voir* l'encadré 4). D'autres mesures d'adaptation permettent

ENCADRÉ 4 : Comment réduire l'étendue des feux au moyen de « paysages intelligents »[106]

De nombreuses études prévoient que le changement climatique entraînera une augmentation de la quantité de feux de forêt. Pour réduire les pertes causées à l'industrie forestière par le feu, Hirsch *et al.*[106] préconisent l'intégration de « paysages intelligents » dans la planification à long terme de l'aménagement forestier. Les paysages intelligents utilisent les activités de gestion forestière telles que la récolte, la régénération et les soins sylvicoles pour réduire l'intensité et la propagation des feux de friches ainsi que les impacts des feux. Par exemple, on peut planter des essences à faible inflammabilité (p. ex., le tremble) autour de peuplements de conifères à haute inflammabilité, de valeur commerciale élevée et à forte productivité, afin de les protéger contre la propagation des feux. Les simulations modélisées suggèrent que ce moyen de réduire le danger de feu pourrait faire diminuer considérablement l'ampleur des feux de forêt.



Étendue de trois feux simulés dans un paysage actuel (à gauche) et dans un paysage hypothétique où le danger de feu a été réduit par le traitement approprié (à droite), 22 heures après le début des feux. On notera que la superficie brûlée a diminué lorsqu'on a adopté l'approche de l'aménagement « intelligent ».

L'étude suggère qu'en plus de réduire les pertes dues aux feux de forêt, le traitement des matières combustibles pourrait augmenter la possibilité de coupe annuelle.

aussi de faire face aux changements qui se produiront dans les régimes des feux de forêt, notamment l'intensification de la surveillance, le perfectionnement des systèmes d'alerte rapide, l'amélioration de la récupération des forêts après les perturbations causées par le feu et l'utilisation du brûlage dirigé.[105]

Certains recommandent de recourir au brûlage dirigé pour rendre les forêts moins vulnérables à la recrudescence des invasions d'insectes,[105] et on a également proposé d'utiliser d'autres méthodes dans ce but. On peut par exemple répandre des insecticides non chimiques qui réduiraient la mortalité des feuilles causée par les insectes, ce qui permettrait de ne pas devoir avancer la date de la récolte des arbres.[107] On explore une autre solution non chimique au contrôle des insectes en utilisant des baculovirus qui attaquent des espèces nuisibles particulières, comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette, et qui permettent de mieux contrôler les espèces visées sans entraîner de conséquences fâcheuses pour les autres espèces et l'environnement.[108] Il existe encore une autre méthode pour s'attaquer à la prolifération des insectes : elle consiste à ajuster les calendriers de récolte de manière à ce que les peuplements les plus vulnérables à la défoliation par les insectes soient récoltés avant les autres.[107]

Les changements qui se produiront dans les régimes des feux de forêt à la suite du changement climatique nécessiteront l'ajustement des systèmes de gestion des feux. Le nombre croissant de feux influera sur les budgets, la dotation en personnel, les technologies utilisées, les besoins en équipement et les systèmes de surveillance et d'alerte.[105] En prévoyant ces changements et en intensifiant la coopération entre les organismes concernés, on réduira au minimum les coûts qu'ils entraîneront et on facilitera la transition.

Les études sur les impacts des phénomènes météorologiques extrêmes et sur la réaction que ces phénomènes ont suscitée de la part du secteur forestier peuvent nous aider à comprendre ces impacts et à mieux nous préparer pour l'avenir. C'est ainsi que des chercheurs examinent comment l'aménagement des terrains boisés et des plantations peut réduire la vulnérabilité aux tempêtes de verglas[79] et créent des outils de décision qui pourront aider les gestionnaires forestiers à résoudre les problèmes posés par les peuplements d'arbres endommagés.[109]

Considérations sociales, économiques et politiques

Lorsqu'on évalue les différentes mesures d'adaptation possibles, il faut considérer les implications sociales, économiques et politiques de chacune d'elles. On considère souvent le déménagement des opérations forestières comme une mesure d'adaptation appropriée à la migration des espèces, alors que plusieurs facteurs restreignent sa faisabilité. Les collectivités, plus particulièrement les Premières nations et les Métis qui sont liés à la terre par des attaches culturelles et économiques, peuvent ne pas vouloir ou ne pas pouvoir déménager. Qui plus est, le déplacement d'infrastructures industrielles et de collectivités entières pourrait s'avérer onéreux, sans garantie d'en tirer les avantages escomptés ou de préserver les liens à la terre des collectivités. De plus, des politiques et des ententes limitent la mobilité de nombreuses collectivités autochtones, ce qui compromet la viabilité de cette mesure d'adaptation.[85]

Une des composantes importantes de l'adaptation consiste à déterminer qui devra s'adapter. L'industrie forestière, les différents ordres de gouvernement, les collectivités et les personnes devront tous adapter leurs pratiques pour faire face aux impacts du changement climatique sur les forêts. Comme chaque groupe percevra à sa manière les risques du changement climatique et sa capacité d'adaptation, les réactions au phénomène seront différentes. Dans certains cas, ces perceptions divergentes engendreront des tensions entre les différents groupes et les prio-rités et mandats conflictuels créeront sans doute aussi des problèmes.

Avant d'appliquer des mesures d'adaptation, il faut considérer les impacts qu'elles risquent d'avoir sur toutes les parties intéressées. Ainsi, bien qu'il soit souhaitable d'introduire des essences commerciales exotiques ou hybrides en prévision de certains impacts du changement climatique, cette mesure ne convient pas nécessairement, du point de vue social ou éthique, à toutes les parties intéressées.

Lacunes sur le plan des connaissances et besoins en matière de recherche

Jusqu'à présent au Canada, on a essentiellement axé la recherche relative au changement climatique lié à la foresterie sur les impacts biophysiques tels que les taux de croissance, les régimes de perturbations et la dynamique des écosystèmes, en négligeant quelque peu les impacts socio-économiques et la capacité des gestionnaires forestiers à s'adapter au changement climatique. Les études canadiennes dans lesquelles on a examiné l'adaptation au changement climatique dans le secteur forestier ont fait ressortir l'importance d'obtenir la participation des gestionnaires forestiers et des autres parties intéressées à toutes les étapes du processus, et la nécessité de publier les résultats de ces études sous une forme qui soit à la fois pertinente et utile aux gestionnaires forestiers. Cette notion implique des recommandations à l'échelon approprié (dans le temps et dans l'espace).

Les besoins en matière de recherche, relevés dans la bibliographie citée dans le présent chapitre, concernent les impacts et l'adaptation.

Impacts

1) Études des effets interactifs à long terme, sur les forêts, du climat et d'autres changements environnementaux.

2) Meilleure compréhension de la capacité des différentes espèces d'arbres à réagir au changement par la migration, et des répercussions potentielles de la migration sur la dynamique des écosystèmes, les collectivités et l'industrie forestière.

3) Travaux supplémentaires sur les régimes de perturbations, comprenant les impacts interactifs des perturbations (p. ex., les feux et les insectes nuisibles) et l'intégration de ces impacts dans les modèles.

4) Effets du changement climatique sur la biodiversité et rôle de la biodiversité dans les fonctions des écosystèmes.

5) Meilleure connaissance de la gamme potentielle d'impacts sur les valeurs forestières commerciales et non commerciales, des seuils critiques du changement et des liens entre la science, les politiques et l'aménagement des forêts.

6) Élaboration de méthodes en vue de synthétiser et d'intégrer les résultats de la recherche sur les impacts du changement climatique sur les forêts.

Adaptation

1) Meilleure connaissance des effets, sur les écosystèmes, de la gestion active des forêts, tels que les effets de la réintroduction d'espèces dans les écosystèmes perturbés.

2) Études axées sur les effets socio-économiques des différentes mesures d'adaptation.

3) Études des moyens de réduire, à court et à long terme, la vulnérabilité des forêts aux perturbations causées par les feux et les insectes.

4) Meilleure connaissance de la capacité d'adaptation des gestionnaires forestiers et autres parties intéressées, ainsi que des facteurs qui influencent leur prise de décision.

5) Recherche sur les nouvelles possibilités en foresterie, comme la valorisation commerciale des forêts dans les régions septentrionales et le rôle potentiel de la biotechnologie.

6) Études sur l'intégration plus poussée du changement climatique dans la planification forestière à long terme, comprenant l'amélioration de la communication des connaissances et des résultats de la recherche.

Conclusion

Le changement climatique peut engendrer des changements fondamentaux dans la dynamique des écosystèmes forestiers. Cependant, les résultats de nombreuses études dans lesquelles on a examiné l'impact du changement climatique sur les forêts varient considérablement selon les facteurs considérés et les hypothèses posées. Par exemple, les études qui supposent des températures plus chaudes, des concentrations plus élevées de CO_2 et des précipitations plus abondantes prévoient généralement une augmentation de la productivité forestière. Par contre, lorsqu'on introduit dans les études l'augmentation des perturbations (causées par les feux et les insectes) et l'instabilité des écosystèmes consécutive à la migration des espèces, on aboutit généralement à des effets négatifs.

En plus des impacts directs et indirects du changement climatique sur les forêts, d'autres facteurs tels que la fragmentation des habitats et les changements d'utilisation des terres influenceront la capacité d'adaptation des forêts et de l'industrie forestière.

Pour mesurer la vulnérabilité globale, il faut considérer tous ces facteurs, en plus de la capacité des parties intéressées d'appliquer des mesures d'adaptation. Étant donné les incertitudes que présentent les modèles climatiques et notre connaissance imparfaite des processus écosystémiques, il est probable qu'on ne parviendra pas à formuler des prévisions précises concernant les impacts du changement climatique sur la foresterie. Cela ne restreint pas notre capacité d'adaptation, mais au contraire nous rend davantage conscients du besoin de maintenir ou de renforcer la résistance des forêts au changement. Il faudrait intégrer le changement climatique dans la planification forestière à long terme, de manière à réduire le plus possible le décalage entre les espèces et les futurs régimes de climats et de perturbations. Ces mesures contribueront à rendre les forêts moins vulnérables au changement climatique.

Références

Les références en caractères gras désignent des rapports portant sur des travaux financés dans le cadre du Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada.

(1) Ressources naturelles Canada. *L'état des forêts au Canada 2000-2001 : la foresterie durable : une réalité au Canada*, Service canadien des forêts, Ottawa (Ontario), 2001, 112 p. Disponible en ligne à http://www.nrcan.gc.ca/cfs-scf/national/whatquoi/sof/sof01/index_f.html (accès en juillet 2002).

(2) Albritton, D.L. et L.G.M. Filho. « Technical summary », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail I au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 21-84. Aussi disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en juillet 2002).

(3) Cohen, S. et K. Miller. « North America », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 735-800. Aussi disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/ reports.htm (accès en juillet 2002).

(4) Saporta, R., J.R. Malcolm et D.L. Martell. « Impacts du changement climatique sur les forêts canadiennes », dans *Impacts et adaptation à la variabilité et au changement du climat : questions sectorielles*, G. Koshida et W. Avis (éd.), 1998. Environnement Canada, *Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, vol. VII, pp. 345-416.

(5) Gitay, H., S. Brown, W. Easterling et B. Jallow. « Ecosystems and their goods and services », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 735-800. Aussi disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en juillet 2002).

(6) Rehfeldt, G.E., C.C. Ying, D.L. Spittlehouse et D.A. Hamilton Jr. « Genetic responses to climate », dans *Pinus contorta: niche breadth, climate change, and reforestation*, Ecological Monographs, vol. 69, nº 3, 1999, pp. 375-407.

(7) Environnement Canada. *Bulletin des tendances et des variations climatiques pour le Canada*, 2001. Disponible en ligne à http://www.msc-smc.ec.gc.ca/ccrm/bulletin/annual01/french/index.htm (accès en juillet 2002).

(8) Myneni, R.B., C.D. Keeling, C.J. Tucker, G. Asrar et R.R. Nemani. « Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981–1991 », *Nature*, vol. 386, 1997, pp. 698-702.

(9) Beaubien, E.G. et H.J. Freeland. « Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature », *International Journal of Biometeorology*, vol. 44, nº 2, 2000, pp. 53-59.

(10) Colombo, S.J. « Climatic warming and its effect on bud burst and risk of frost damage to white spruce in Canada », *Forestry Chronicle*, vol. 74, nº 4, 1998, pp. 567-577.

(11) McKenney, D.W., M.F. Hutchinson, J.L. Kesteven et L.A. Venier. « Canada's plant hardiness zones revisited using modern climate interpolation techniques », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 81, nº 1, 2001, pp. 117-129.

(12) Luckman, B. et T. Kavanagh. « Impact of climate fluctuations on mountain environments in the Canadian Rockies », *Ambio*, vol. 29, nº 7, 2000, pp. 371-380.

(13) Lieffers, S.M., V.J. Lieffers, U. Silins et L. Bach. « Effects of cold temperatures on breakage of lodgepole pine and white spruce twigs », *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 31, nº 9, 2001, pp. 1650-1653.

(14) Ayres, M.P. et M.J. Lombardero. « Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens », *The Science of the Total Environment*, vol. 262, nº 3, 2000, pp. 263-286.

(15) Zhu, X.B., R.M. Cox, C.P.A. Bourque et P.A. Arp. « Thaw effects on cold-hardiness parameters in yellow birch », *Revue canadienne de botanique*, vol. 80, 2002, pp. 390-398.

(16) Cox, R.M. et J.W. Malcolm. « Effects of winter thaw on birch die-back and xylem conductivity: an experimental approach with *Betula papyrifera L.* », *Tree Physiology*, vol. 17, 1997, pp. 389-396.

(17) Bergsten, U., F. Goulet, T. Lundmark et M. Ottosson Löfvenius. « Frost heaving in a boreal soil in relation to soil scarification and snow cover », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, nº 6, 2001, pp. 1084-1092.

(18) **Hogg, E.H., J.P. Brandt et B. Kochtubajda. *Responses of western Canadian aspen forests to climate variation and insect defoliation during the period 1950–2000*, 2001. Rapport inédit, Ressources naturelles Canada, Fonds d'action pour le changement climatique.**

(19) **Cox, R.M. et P.A. Arp. *Using winter climatic data to estimate spring crown dieback in yellow birch: a case study to project extent and locations of past and future birch decline*, 2001. Rapport inédit, Ressources naturelles Canada, Fonds d'action pour le changement climatique.**

(20) Price, D.T., C.H. Peng, M.J. Apps et D.H. Halliwell. « Simulating effects of climate change on boreal ecosystem carbon pools in central Canada », *Journal of Biogeography*, vol. 26, nº 6, 1999, pp. 1237-1248.

(21) Maynard, B.K. *List of sustainable trees and shrubs*, 2001. Disponible en ligne à http://www.uri.edu/research/sustland/spl1.html (accès en juillet 2002).

(22) Gielen, B. et R. Ceulemans. « The likely impact of rising atmospheric CO_2 on natural and managed *Populus*: a literature review », *Environmental Pollution*, vol. 115, 2001, pp. 335-358.

(23) Dickson, R.E., M.D. Coleman, D.E. Riemenschneider, J.G. Isebrands, G.D. Hogan et D.F. Karnosky. « Growth of five hybrid poplar genotypes exposed to interacting elevated CO_2 and O_3 », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 28, 1998, pp. 1706-1716.

(24) Olszyk, D., C. Wise, E. VanEss et D. Tingey. « Elevated temperature but not elevated CO_2 affects long-term patterns of stem diameter and height of Douglas-fir seedlings », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 28, 1998, pp. 1046-1054.

(25) Volin, J.C., E.L. Kruger et R.L. Lindroth. « Responses of deciduous broadleaf trees to defoliation in a CO_2 enriched atmosphere », *Tree Physiology*, vol. 22, nº 7, 2002, pp. 435-448.

(26) Karnosky, D.F., B. Mankovska, K. Percy, R.E. Dickson, G.K. Podila, J. Sober, A. Noormets, G. Hendrey, M.D. Coleman, M. Kubiske, K.S. Pregitzer et J.G. Isebrands. « Effects of tropospheric O_3 on trembling aspen and interaction with CO_2: Results from an O_3-gradient and a FACE experiment », *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 116, nos 1-2, 1999, pp. 311-322.

(27) Isebrands, J.G., E.P. McDonald, E. Kruger, G. Hendrey, K. Percy, K. Pregitzer, J. Sober et D.F. Karnosky. « Growth responses of *Populus tremuloides* to interacting elevated carbon dioxide and tropospheric ozone », *Environmental Pollution*, vol. 115, nº 3, 2001, pp. 359-371.

(28) Robinson, D.E., R.G. Wagner et C.J. Swanton. « Effects of nitrogen on the growth of jack pine competing with Canada blue grass and large-leaved aster », *Forest Ecology and Management*, vol. 160, nº 1, 2002, pp. 233-242.

(29) Caspersen, J.P., S.W. Pacala, J.C. Jenkins, G.C. Hurtt, P.R. Moorcroft et R.A. Birdsey. « Contributions of land-use history to carbon accumulation in U.S. forests », *Nature*, vol. 290, 2000, pp. 1148-1151.

(30) Colombo, S.J, L.J. Buse, M.L. Cherry, C. Graham, S. Greifenhagen, R.S. McAlpine, C.S. Papadapol, W.C. Parker, T. Scarr, M.T. Ter-Mikaelian et M.D. Flannigan (éd.). *The impacts of climate change on Ontario's forests*, Institut de recherche forestière de l'Ontario, Forest Research Information Paper, vol. 143, nº 50, 1998, 50 p.

(31) Papadopol, C.S. « Impacts of climate warming on forests in Ontario: options for adaptation and mitigation », *Forestry Chronicle*, vol. 76, nº 1, 2000, pp. 139-149.

(32) Koshida, G. et W. Avis. *Résumé, L'étude pancanadienne*, vol. VII, 1998. Disponible en ligne à http://www.ec.gc.ca/climate/ccs/somexe7.htm (accès en juillet 2002).

(33) Kirilenko, A.P., N.V. Belotelov et B.G. Bogatyrev. « Global model of vegetation migration: incorporation of climatic variability », *Ecological Modelling*, vol. 132, 2000, pp. 125-133.

(34) Stewart, R.B., E. Wheaton et D. Spittlehouse. « Climate change: implications for the Boreal forest », dans *Implications of Climate Change: What Do We Know?*. Compte rendu du colloque de l'Air and Water Waste Management Association, Calgary (Alberta), du 22 au 24 septembre 1997, 23 p.

(35) Iverson, L.R. et A.M. Prasad. « Potential changes in tree species richness and forest community types following climate change », *Ecosystems*, vol. 4, nº 3, 2001, pp. 186-199.

(36) **James, P. *Climate change and fragmented Prairie biodiversity: prediction and adaptation*, 2001. Rapport inédit préparé par la Coopérative des Prairies pour la recherche en adapatation.**

(37) Collingham, Y.C. et B. Huntley. « Impacts of habitat fragmentation and patch size upon migration rates », *Ecological Applications*, vol. 10, nº 1, 2000, pp. 131-144.

(38) Loehle, C. « Height growth rate tradeoffs determine northern and southern range limits for trees », *Journal of Biogeography*, vol. 25, nº 4, 1998, pp. 735-742.

(39) Brooks, J.R., L.B. Flanagan et J.R. Ehleringer. « Responses of boreal conifers to climate fluctuations: indications from tree-ring widths and carbon isotope analyses », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 28, nº 4, 1998, pp. 524-533.

(40) Hogg, E.H. « Simulation of interannual responses of trembling aspen stands to climatic variation and insect defoliation in western Canada », *Ecological Modelling*, vol. 114, 1999, pp. 175-193.

(41) Morgan, G., L.F. Pitelka et E. Shevliakova. « Elicitation of expert judgments of climate change impacts on forest ecosystems », *Climatic Change*, vol. 49, nº 3, 2001, pp. 279-307.

(42) Price, D.T., N.E. Zimmermann, P.J. van der Meer, M.J. Lexer, P. Leadley, I.T.M. Jorritsma, J. Schaber, D.F. Clark, P. Lasch, S. McNulty, J. Wu et B. Smith. « Regeneration in gap models: priority issues for studying forest responses to climate change », *Climatic Change*, vol. 52, nos 3-4, 2001, pp. 475-508.

(43) Malcolm, J.R. et L.F. Pitelka. *Ecosystems and global climate change: a review of potential impacts on U.S. terrestrial ecosystems and biodiversity*, 2000. Rapport préparé pour le Pew Center on Global Climate Change. Disponible en ligne à http://www.pewclimate.org/projects/env_ecosystems.cfm (accès en juin 2002).

(44) Shafer, S.L., P.J. Bartlein et R.S. Thompson. « Potential changes in the distributions of western North America tree and shrub taxa under future climate scenarios », *Ecosystems*, vol. 4, 2001, pp. 200-215.

(45) Thompson, I.D., M.D. Flannigan, B.M. Wotton et R. Suffling. « The effects of climate change on landscape diversity: an example in Ontario forests », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 49, nos 2-3, 1998, pp. 213-233.

(46) MacDonald, G.M., J.M. Szeicz, J. Claricoates et K. Dale. « A response of the central Canadian treeline to recent climatic changes », *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 88, no 2, 1998, pp. 183-208.

(47) Loehle, C. « Forest ecotone response to climate change: sensitivity to temperature response functional forms », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 30, no 10, 2000, pp. 1632-1645.

(48) Hong, S.H., D.J. Mladenoff et T.R. Crow. « Linking an ecosystem model and a landscape model to study forest species response to climate warming », *Ecological Modelling*, vol. 114, nos 2-3, 1999, pp. 213-233.

(49) Kirsch Baum, M.U.F. « Forest growth and species distribution in a changing climate », *Tree Physiology*, vol. 22, nos 5-6, 2000, pp. 309-322.

(50) Cherry, M.L. « Genetic implications of climate change », dans *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*, S.J. Colombo et L.J. Buse (éd.), 1998. Ministère des richesses naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Paper No. 143.

(51) Parker, W.C., S.J. Colombo, M.L. Cherry, M.D. Flannigan, S. Greifenhagen, R.S. McAlpine, C. Peng et M.J. Apps. « Simulating carbon dynamics along the Boreal Forest Transect Case Study (BFTCS) in central Canada: 2, sensitivity to climate change », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 12, no 2, 1998, pp. 393-402.

(52) Fleming, R.A. et J.N. Candau. « Influences of climatic change on some ecological processes of an insect outbreak system in Canada's boreal forests and the implications for biodiversity », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 49, nos 2-3, 1998, pp. 235-249.

(53) **Fleming, R.A., J.N. Candau et R.S. McAlpine. *Exploratory retrospective analysis of the interaction between spruce budworm (SBW) and forest fire activity*, 2001. Rapport inédit, Ressources naturelles Canada, Fonds d'action pour le changement climatique.**

(54) Weber, M.G. et B.J. Stocks. « Forest fires and sustainability in the boreal forests of Canada », *Ambio*, vol. 27, no 7, 1998, pp. 545-550.

(55) Conseil canadien des ministres des forêts. *Abrégé de statistiques forestières canadiennes*, 2001. Disponible en ligne à http://nfdp.ccfm.org/cp95/text_f/cont1f.htm (accès en mai 2002).

(56) Schindler, D.W. « A dim future for boreal waters and landscapes », *BioScience*, vol. 48, no 3, 1998, pp. 157-164.

(57) Kasischke, E.S., K. Bergen, R. Fennimore, F. Sotelo, G. Stephens, A. Jaentos et H.H. Shugart. « Satellite imagery gives clear picture of Russia's boreal forest fires », *Transactions of the American Geophysical Union*, vol. 80, 1999, pp. 141-147.

(58) **Stocks, B.J. *Projecting Canadian forest fire impacts in a changing climate: laying the foundation for the development of sound adaptation strategies*, 2001. Rapport inédit, Ressources naturelles Canada, Fonds d'action pour le changement climatique.**

(59) Bergeron, Y., S. Gauthier, V. Kafka, P. Lefort et D. Lesieur. « Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest: consequences for sustainable forestry », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, no 3, 2001, pp. 384-391.

(60) Johnson, E.A., K. Miyanishi et N. O'Brien. « Long-term reconstruction of the fire season in the mixedwood boreal forest of western Canada », *Revue canadienne de botanique*, vol. 77, no 8, 1999, pp. 1185-1188.

(61) Podur, J., D.L. Martell et K. Knight. « Statistical quality control analysis of forest fire activity in Canada », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 32, 2002, pp.195-205.

(62) Stocks, B.J., M.A. Fosberg, T.J. Lynham, L. Mearns, B.M. Wotton, Q. Yang, J.Z. Jin, K. Lawrence, G.R. Hartley, J.A. Mason et D.W. McKenney. « Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests », *Climatic Change*, vol. 38, no 1, 1998, pp. 1-13.

(63) Goldammer, J.G. et C. Price. « Potential impacts of climate change on fire regimes in the tropics based on Magicc and a GISS GCM-derived lightning model », *Climatic Change*, vol. 39, nos 2-3, 1998, pp. 273-296.

(64) Flannigan, M.D., I. Campbell, M. Wotton, C. Carcaillet, P. Richard et Y. Bergeron. « Future fire in Canada's boreal forest: paleoecology results and general circulation model – regional climate model simulations », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, no 5, pp. 854-864.

(65) Flannigan, M.D., B.J. Stocks et B.M. Wotton. « Climate change and forest fires », *Science of the Total Environment*, vol. 262, no 3, 2000, pp. 221-229.

(66) Li, C., M.D. Flannigan et I.G.W. Corns. « Influence of potential climate change on forest landscape dynamics of west-central Alberta », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 30, no 12, 2000, pp. 1905-1912.

(67) Bergeron, Y. « Les conséquences des changements climatiques sur la fréquence des feux et la composition forestière au sud-ouest de la forêt boréale québécoise », *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 52, no 2, 1998, pp. 167-174.

(68) McAlpine, R.S. « The impact of climate change on forest fires and forest fire management in Ontario », dans *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*, S.J. Colombo, L.J. Buse, M.L. Cherry, C. Graham, S. Greifenhagen, R.S. McAlpine, C.S. Papadapol, W.C. Parker, R. Scarr, M.T. Ter-Mikaelian et M.D. Flannigan (éd.), 1998. Institut de recherche forestière de l'Ontario, Forest Research Information Paper, vol. 143, n° 50, 50 p.

(69) Environnement Canada. *Les dix principaux evenements meteorologiques de 2001*. Disponible en ligne à http://www.msc.ec.gc.ca/top_10_e.cfm (accès en février 2002).

(70) Amiro, B.D., J.B. Todd, B.M. Wotton, K.A. Logan, M.D. Flannigan, B.J. Stocks, J.A. Mason, D.L. Martell et K.G. Hirsch. « Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959-1999 », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, n° 3, 2001, pp. 512-525.

(71) Volney, W.J.A. et R.A. Fleming. « Climate change and impacts of boreal forest insects », *Agriculture Ecosystems and Environment*, vol. 82, n°s 1-3, 2000, pp. 283-294.

(72) Hogg, E.H., J.P. Brandt et B. Kochtubajda. « Growth and dieback of apsen forests in northwestern Alberta, Canada in relation to climate and insects », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 32, 2002, pp. 823-832.

(73) Volney, W.J.A. « Impacts of climate change on markets and forest values », dans *Forestry Climate Change and Adaptation Workshop, Proposed Forestry Network within C-CIARN*, 2001. Rédigé pour le Réseau canadien sur les impacts et l'adaptation par Summum Consultants. Disponible en ligne à http://forest.c-ciarn.ca/images/CCAIRN%20Forest%20report.pdf (accès en juillet 2002).

(74) British Columbia Ministry of Forests. *Mountain pine beetle epidemic in the central interior*, 2001. Feuillet d'information disponible en ligne à http://www.for.gov.bc.ca/PAB/News/Features/beetles/FactSheetMPBeetle20010212.pdf (accès en septembre 2002).

(75) Percy, K.E., C.S. Awmack, R.L. Lindroth, B.J. Kopper, J.G. Isebrands, K.S. Pregitzer, G.R. Hendrey, R.E. Dickson, D.R. Zak, E. Oksanen, J. Sober, R. Harrington et D.F. Karnosky. « Will pests modify predicted response of forests to CO_2 enriched atmospheres? », *Nature* (sous presse).

(76) Price, J. « Climate change, birds and ecosystems – why should we care? », dans *Proceedings of the International Health Conference*, Sacramento (Californie), août 1999.

(77) Hooper, M.C., K. Arii et M.J. Lechowicz. « Impact of a major ice storm on an old-growth hardwood forest », *Revue canadienne de botanique*, vol. 79, n° 1, 2001 pp. 70-75.

(78) Kerry, M., G. Kelk, D. Etkin, I. Burton et S. Kalhok. « Glazed over: Canada copes with the ice storm of 1998 », *Environment*, vol. 41, n° 1, 1999, pp. 6-11, 28-33.

(79) Ice Storm Forest Research and Technology Transfer. « After the ice storm », 2001. Disponible en ligne à http://www.eomf.on.ca/ISFRATT/index.htm (accès en juillet 2002).

(80) Peterson, C.J. « Catastrophic wind damage to North American forests and the potential impact of climate change », *Science of the Total Environment*, vol. 262, n° 3, 2000, pp. 287-311.

(81) Shaw, J. *Contre vents et marées : le changement climatique dans le Canada atlantique*, 2001. Disponible en ligne à http://adaptation.nrcan.gc.ca/posters/reg_fr.asp?Region (accès en juillet 2002).

(82) Veblen, T.T., D. Kulakowski, K.S. Eisenhart et W.L. Baker. « Subalpine forest damage from a severe windstorm in northern Colorado », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, 2001, pp. 2089-2097.

(83) Lindemann, J.D. et W.L. Baker. « Attributes of blowdown patches from a severe wind event in the southern Rocky Mountains, U.S.A. », *Landscape Ecology*, vol. 16, n° 4, 2001, pp. 313-325.

(84) Williams, G.D.V. et E.E. Wheaton. « Estimating biomass and wind erosion impacts for several climatic scenarios: a Saskatchewan case study », *Prairie Forum*, vol. 23, n° 1, 1998, pp. 49-66.

(85) Hauer, G., T. Williamson et M. Renner. *Socio-economic impacts and adaptive responses to climate change: a Canadian forest perspective*, 1999. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Edmonton (Alberta), rapport informel NOR-X-373.

(86) **Hauer, G. *Climate change impacts on agriculture/forestry land use patterns: developing and applying an integrated impact assessment model*, 2001. Rapport inédit, Ressources naturelles Canada, Fonds d'action pour le changement climatique.**

(87) Dixon, R.K., J.B. Smith, S. Brown, O. Masera, L.J. Mata, I. Buksha et G.R. Larocque. « Simulations of forest system response and feedbacks to global change: experience and results from the U.S. Country Studies Program », dans *Special Issue: Future Directions in Modelling Net Primary Productivity in Forest Ecosystems*, 1999. Compte rendu d'un colloque tenu lors d'une réunion conjointe du chapitre nord-américain de l'International Society for Ecological Modelling (ISEM) et de l'American Institute of Biological Sciences (AIBS), Montréal (Québec), 5 et 6 août 1997, pp. 289-305.

(88) Mendelsohn, R. « Impacts of climate change on markets and forest values », dans *Forestry Climate Change and Adaptation Workshop, Proposed Forestry Network within C-CIARN*, 2001. Rédigé pour le Réseau canadien sur les impacts et l'adaptation par Summum Consultants. Disponible en ligne à http://forest.c-ciarn.ca/images/CCAIRN%20Forest%20report.pdf (accès en juillet 2002).

(89) Churkina, G. et S. Running. « Investigating the balance between timber harvest and productivity of global coniferous forests under global change », *Climatic Change*, vol. 47, nos 1-2, 2000, pp. 167-191.

(90) Nabuurs, G.J. et R. Sikkema. « International trade in wood products: its role in the land use change and forestry carbon cycle », *Climatic Change*, vol. 49, no 4, 2001, pp. 377-395.

(91) Mike, J. « Provincial governments and First Nations perspectives », dans *Forestry Climate Change and Adaptation Workshop, Proposed Forestry Network within C-CIARN*, 2001. Rédigé pour le Réseau canadien sur les impacts et l'adaptation par Summum Consultants. Disponible en ligne à http://forest.c-ciarn.ca/images/ CCAIRN%20Forest%20report.pdf (accès en juillet 2002).

(92) Environnement Canada. *L'étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique : points saillants pour les Canadiens*, 1999. Disponible en ligne à http://www.ec.gc.ca/climate/ccs/highlights_f.htm (accès en juillet 2002).

(93) Lindner, M., P. Lasch et M. Erhard. « Alternative forest management strategies under climatic change - prospects for gap model applications in risk analyses », *Silva Fennica*, vol. 34, no 2, 2000, pp. 101-111.

(94) Spittlehouse, D. « Evaluating and managing for effects of future climates on forest growth », dans *Proceedings of Adapting Forest Management to Future Climate*, Prince Albert (Saskatchewan), 25-26 janvier 2001.

(95) Hebda, R. « Atmospheric change, forests and biodiversity », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 49, nos 2-3, 1998, pp. 195-212.

(96) O'Shaughnessy, S.A. et M. Johnson. « Changing climate and adaptation in forest management », dans *Conference Proceedings from Adapting Forest Management to Future Climate*, Prince Albert (Saskatchewan), 25-26 janvier 2001.

(97) **O'Shaughnessy, S.A. et L. Martz. *A framework for determining the ability of the forest sector to adapt to climate change*, 2002. Rapport inédit rédigé pour la Coopérative des Prairies pour la recherche en adaptation.**

(98) Lindner, M. *Forest management strategies in the context of potential climate change*, Waldbaustrategien im Kontext moglicher Klimaanderungen. Forstwissenschaftliches-Centralblatt, vol. 118, no 1, pp. 1-13.

(99) Irland, L.C. « Ice storms and forest impacts », *Science of the Total Environment*, vol. 262, no 3, 2000, pp. 231-242.

(100) Groupe de travail du Processus de Montréal. *Le processus de Montréal*, 1998. Disponible en ligne à http://www.mpci.org/home_f.htm (accès en août 2002).

(101) Hogg, E.H. et A.G. Schwarz. « Regeneration of planted conifers across climatic moisture gradients on the Canadian Prairies: implications for distribution and climate change », *Journal of Biogeography*, vol. 24, 1997, pp. 527-534.

(102) Dore, M., S.N. Kulshreshtha et M. Johnson. « Agriculture versus forestry in northern Saskatchewan », dans *Sustainable Forest Management and Global Climate Change*, M.H. Dore et R. Guevara (éd.), Edward Elgar Publishing Ltd, Royaume-Uni, 2000, 281 p.

(103) Ressources naturelles Canada. *Les arbres génétiquement modifiés*, 2001b. Disponible en ligne à http://www.nrcan-rncan.gc.ca/cfs-scf/science/biotechfacts/trees/index_f.htm (accès en septembre 2002).

(104) Brown, K.R. et R. van den Driessche. « Growth and nutrition of hybrid poplars over 3 years after fertilization at planting », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 32, 2002, pp. 226-232.

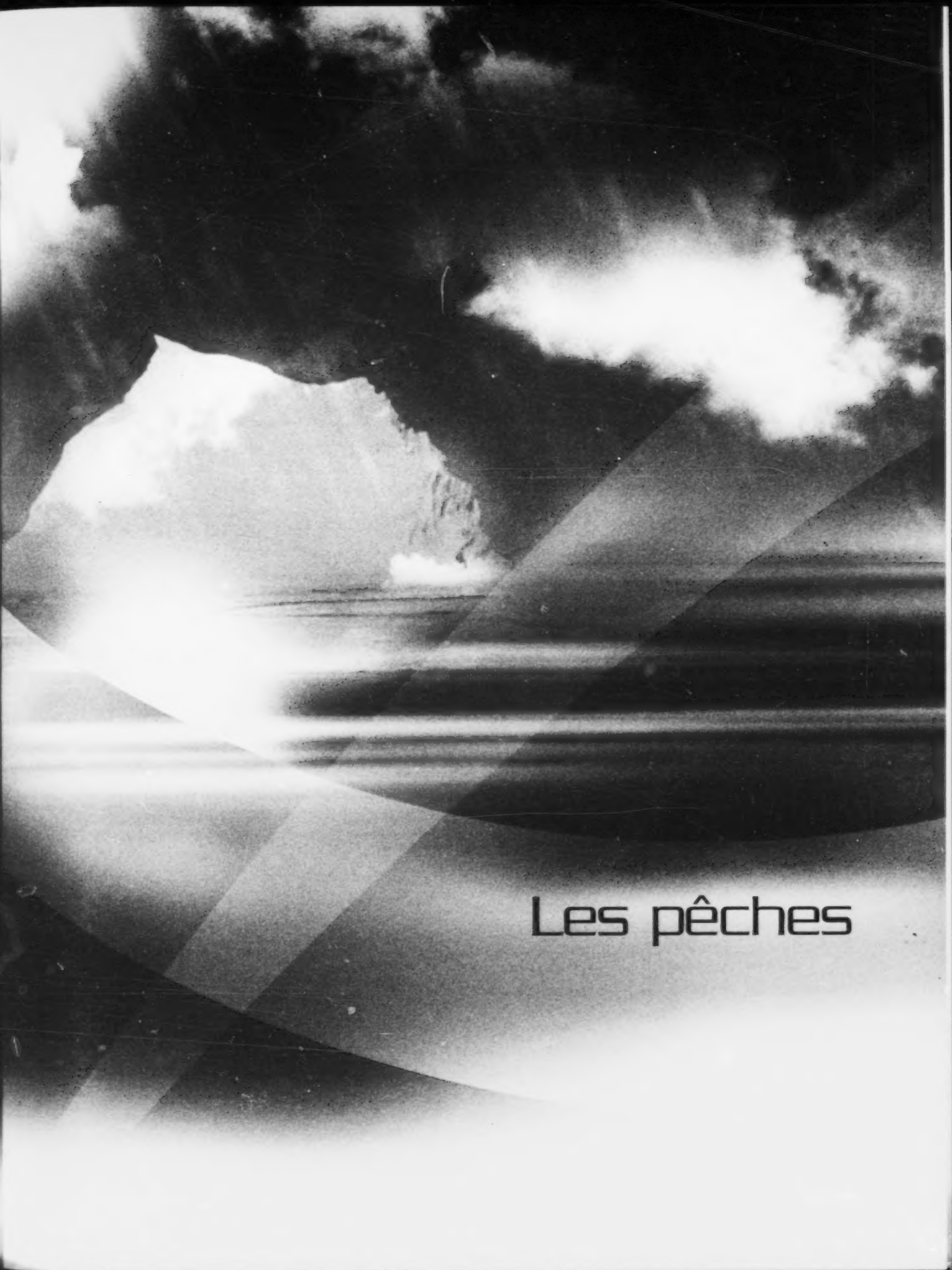
(105) **Wheaton, E. *Changing fire risk in a changing climate: a literature review and assessment*, 2001. Saskatchewan Research Council, publication no 11341-2E01. Rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(106) **Hirsch, K., V. Kafka, B. Todd et C. Tymstra. « Using forest management techniques to alter forest fuels and reduce wildfire size: an exploratory analysis », dans *Climate Change in the Prairie Provinces: Assessing Landscape Fire Behaviour Potential and Evaluation Fuel Treatment as an Adaptation Strategy*, 2001. Rapport inédit rédigé pour la Coopérative des Prairies pour la recherche en adaptation.**

(107) Johnson, M. *Impact of climate change on boreal forest insect outbreaks*, 2001. Rapport à diffusion restreinte, Saskatchewan Research Council, publication no 11341-6E01.

(108) Ressources naturelles Canada. *Les baculovirus génétiquement modifiés*, 2001c. Disponible en ligne à http://www.nrcan-rncan.gc.ca/cfs-scf/science/biotechfacts/baculovirus/index_f.htm (accès en septembre 2002).

(109) Lautenschlager, R.A. et C. Nielsen. « Ontario's forest science efforts following the 1998 ice storm », *Forestry Chronicle*, vol. 75, no 4, 1999, pp. 633-664.


Les pêches

« Entouré des océans Arctique, Atlantique et Pacifique et baigné par les Grands Lacs, le Canada est une des grandes nations maritimes de la planète. »[1]

Les pêches revêtent une grande importance au Canada, tant sur le plan économique que sur le plan culturel. Le Canada est le pays qui possède le plus long littoral, la zone économique exclusive la plus étendue et le plus vaste réseau d'eau douce. Plus de sept millions de gens vivent dans les régions côtières du pays et, en 1999, l'industrie des pêches fournissait de l'emploi à plus de 144 000 Canadiens.[2] Pour beaucoup de petites collectivités côtières et autochtones, la pêche est plus qu'un moyen de subsistance; c'est un mode de vie.

Au Canada, le secteur des pêches englobe les trois océans (Atlantique, Pacifique et Arctique) ainsi que les plans d'eau douce. Dans chaque région, la pêche commerciale, la pêche récréative et la pêche de subsistance jouent un rôle important, quoique variable. Globalement, ce sont les pêches marines, plus particulièrement les prises de mollusques et de crustacés, qui contribuent le plus à la valeur des débarquements (1,92 milliard de dollars) (*voir* le tableau 1). Le saumon, dont la valeur des débarquements dépassait 56 millions de dollars en 2001,[3] est dans bien des cas un élément vital de la pêche de subsistance et de la pêche récréative. L'aquaculture, introduite pour améliorer les stocks naturels, est une des activités de production vivrière qui connaissent un essor rapide au Canada; elle représente 22,5 p. 100 de la production canadienne de poissons et de fruits de mer, et sa valeur s'établissait à 557,9 millions de dollars en 1999.[2] La pêche récréative a aussi une grande importance économique pour le Canada, avec 2,4 milliards de dollars de dépenses directes et 6,7 milliards de dépenses indirectes en 2000.[2]

Les facteurs climatiques, comme la température de l'eau et de l'air, le régime des précipitations et les vents, exercent une forte influence sur la santé, la productivité et la répartition du poisson. Des changements de l'ampleur de ceux qui accompagneraient une élévation de 1,4 à 5,8 °C de la température planétaire, comme le prévoit le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour le siècle présent,[5] pourraient avoir des impacts considérables sur les populations de poisson (p. ex., références 6 et 7). En effet, la plupart des espèces de poisson ont besoin d'un ensemble précis de conditions environnementales pour connaître une croissance optimale, se reproduire et survivre. Or, si ces conditions venaient à se modifier sous l'action du changement climatique, les poissons pourraient s'en ressentir directement et indirectement. Le changement environnemental pourrait, par exemple, modifier la répartition des espèces, réduire ou améliorer la croissance, augmenter la concurrence exercée par des espèces exotiques, accroître les risques de maladies et de parasites et altérer la fonction des écosystèmes. Ces transformations risqueraient alors de faire disparaître certaines espèces totalement ou partiellement de leur aire de répartition actuelle[8, 9] et de compromettre la durabilité des récoltes.

TABLEAU 1 : Valeur débarquée des poissons par espèce; les exemples donnés représentent les deux principaux types dans la catégorie considérée[4]

	Atlantique	Pacifique
Mollusques et crustacés	1 026 920 000 $ (p. ex., homards et crevettes)	94 900 000 $ (p. ex., palourdes et crevettes)
Poissons de fond	170 575 000 $ (p. ex., morue et turbot)	115 834 000 $ (p. ex., flétan et sébaste)
Poissons pélagiques et autres	76 281 000 $ (p. ex., hareng et gaspareau)	71 341 000 $ (p. ex., raie et gaspareau)
Autres espèces marines	8 984 000 $ (p. ex., divers et œufs de lompe)	8 800 000 $ (p. ex., divers)

Les données indiquent que, dans certaines régions, les pêches pourraient déjà se ressentir des effets du changement climatique, que l'on rend partiellement responsable de la baisse des stocks de saumon sur la côte du Pacifique.[10] Dans l'Arctique, les rapports faisant état de captures de saumon rouge et de saumon rose bien en dehors de l'aire de répartition connue de ces espèces pourraient s'expliquer par les récentes tendances au réchauffement.[11] En outre, de récentes variations des débits fluviaux conformes aux prévisions du changement climatique (*voir* le chapitre intitulé « Les ressources en eau ») ont été mises en relation avec les variations des populations de poisson dans diverses régions du pays.

Cela dit, les écosystèmes d'eau salée et d'eau douce sont complexes et subissent l'influence d'une foule de paramètres climatiques et non climatiques. Par exemple, les oscillations climatiques à court terme, comme les épisodes El Niño, ainsi que des facteurs de stress, notamment la surpêche, la pollution et les changements de vocation des terres, affectent la physiologie, la répartition et la production des poissons, à tel point qu'il est difficile d'isoler les impacts potentiels du changement climatique sur les pêches.[12] La situation se complique en raison des effets potentiels des variations des conditions environnementales sur les interactions des espèces, comme les relations prédateurs-proies et les relations parasites-hôtes, la structure de la chaîne alimentaire et la concurrence pour s'approprier les ressources.[8] Qui plus est, on comprend mal comment le changement climatique influera sur ces rapports,[6] ce qui ajoute beaucoup d'incertitude à l'évaluation des impacts.

Une évaluation approfondie de la vulnérabilité des pêches doit tenir compte des adaptations qui auraient lieu en réaction au changement climatique ou en prévision du changement climatique. Le secteur des pêches a démontré par le passé qu'il peut s'adapter à des changements, en modifiant ses méthodes de capture, en revoyant ses stratégies de marketing et en se tournant vers d'autres espèces. Toutefois, l'information dont nous disposons sur la capacité d'adaptation des pêches au changement climatique, sur l'éventail des moyens d'adaptation disponibles et sur la possibilité de les mettre en œuvre est encore limitée.[2] Or, des mesures d'adaptation efficaces seront essentielles pour limiter les impacts négatifs du changement climatique et profiter des possibilités qu'il pourrait offrir.

Travaux antérieurs

Dans leur rétrospective de la recherche effectuée au Canada (Étude pancanadienne), Shuter *et al.*[13] distinguent deux grandes catégories d'impacts du changement climatique sur les populations de poisson, à savoir les impacts sur les poissons dans *des lieux précis, comme des changements sur le* plan de la productivité ou de la santé, et les impacts sur la distribution spatiale des populations de poisson, comme les migrations vers le nord.

Globalement, les effets projetés de ces changements sur les récoltes durables varient d'une région à l'autre, comme l'indique le tableau 2.

TABLEAU 2 : Variations projetées des récoltes durables au Canada (tel que résumé dans la référence 13, qui fait un survol de la littérature antérieure à 1998)

Région	Variation projetée des récoltes durables
Océan Atlantique	Diminution
Océan Arctique	Augmentation pour la plupart des espèces
Océan Pacifique	Diminution au sud (saumon) Augmentation au nord (saumon)
Eau douce – Sud	Diminution
Eau douce – Nord	Augmentation

En général, les chercheurs constatent que le changement climatique aura probablement des avantages dans le nord, alors qu'il risque de diminuer les récoltes durables dans les régions au sud. Cette conclusion s'appuie principalement sur l'hypothèse selon laquelle les régions plus froides profiteraient davantage d'un allongement des inter-glaciels et d'un réchauffement des saisons de croissance. Cependant, la température de l'eau n'est pas le seul facteur à prendre en considération dans les prévisions concernant les impacts du changement climatique sur les pêches canadiennes. Il faut aussi tenir compte de l'augmentation du nombre et de l'intensité des événements extrêmes, des variations des régimes de courants et des régimes glaciels marins, lacustres et fluviaux, et des invasions d'espèces exotiques. Ces

facteurs ajoutent tellement à la complexité des évaluations que la plupart des prévisions concernant les impacts sur les pêches sont plutôt de nature qualitative, c'est-à-dire qu'elles se limitent à déterminer si les impacts seront positifs ou négatifs.[13]

Bien que la question de l'adaptation n'ait pas encore été examinée à fond dans le contexte du changement climatique, le concept n'a rien de nouveau dans le secteur des pêches, qui a souvent eu à s'adapter aux variations des conditions environnementales et de l'abondance des ressources halieutiques, et qui continuera à le faire. Ses efforts en ce sens seront d'autant plus efficaces que l'on s'appliquera à élaborer des stratégies axées sur les écosystèmes, qui viseront plus particulièrement à limiter le plus possible les effets négatifs du changement climatique à l'échelle locale, à renforcer les régimes de gestion et à réduire la vulnérabilité à d'autres facteurs de stress.

Impacts sur les ressources halieutiques et les pêches

« La variabilité et le changement climatique ont déjà un impact sur les ressources halieutiques et les pêches au Canada, impact qui ira en s'accentuant. »[12]

Les impacts du changement climatique sur les ressources halieutiques et les pêches se manifesteront par des changements biologiques et abiotiques, de même que par des transformations de l'environnement anthropique. Les variations de la température et du niveau de l'eau, les variations de la fréquence et de la gravité des événements extrêmes et des maladies ainsi que les variations de l'abondance des prédateurs et des proies auront toutes un impact sur les pêches canadiennes. Les modifications des régimes de circulation lacustres et marins ainsi que les variations du mélange vertical auront également leur importance. Cependant, il est actuellement difficile de prévoir les impacts nets du changement climatique, pour un certain nombre de raisons, notamment les limites de nos connaissances sur les mécanismes qui régissent la réaction comportementale des poissons au changement climatique,[14] les limites des données et l'inaptitude des modèles à rendre compte des effets à retardement de la variabilité environnementale.[15]

Côte du Pacifique

En Colombie-Britannique, les revenus provenant de la pêche commerciale, de la pêche récréative, de l'aquaculture et de la transformation du poisson dépassent 1,7 milliard de dollars.[16] Depuis une dizaine d'années, des changements majeurs ont été constatés dans l'écosystème marin de la Colombie-Britannique;[17] ils pourraient s'expliquer par des changements de climat, mais d'autres facteurs entrent également en ligne de compte, comme les pratiques de pêche, la culture du saumon, la destruction de l'habitat d'eau douce, de même que les installations d'approvisionnement en eau douce et d'irrigation.[18, 19]

Au cours des dernières années, une bonne partie de la recherche sur le changement climatique sur la côte du Pacifique a porté sur les espèces de saumon, en raison de leur importance pour la pêche commerciale, la pêche récréative et la pêche de subsistance dans la région, et en raison aussi de la diminution alarmante des prises de saumon observée depuis la fin des années 1980.[2, 19] La faiblesse des populations et des taux de survie de la truite arc-en-ciel et du saumon coho a entraîné d'importantes réductions d'activité et fermetures dans le secteur des pêches au cours des dernières années.[20] De plus, le saumon a besoin d'au moins deux habitats aquatiques différents (un en eau salée et l'autre en eau douce) au cours de sa vie, ce qui l'expose à un large éventail d'impacts climatiques, et les études ont permis d'établir que le forçage climatique a été un facteur déterminant de la régulation des stocks de saumon dans le nord-est du Pacifique depuis 2 200 ans.[21]

La relation entre la température de l'eau et les attributs du saumon est complexe; de nombreuses études ont été réalisées avec des résultats différents. La hausse des températures a été tour à tour associée à un ralentissement de la croissance,[22, 23] à une augmentation des taux de survie,[24] à une augmentation des vitesses de nage,[25] à une baisse de productivité[25] et à des variations de la répartition du saumon.[25] Une élévation de la température de l'eau a tendance à augmenter les besoins énergétiques du poisson, ce qui entraîne souvent une réduction de la croissance, de la productivité et, en bout de ligne, de la taille des populations.[23] Il a également été démontré qu'une eau plus chaude diminue les chances de succès du frai du saumon[26] et augmente les taux de survie en améliorant l'état physiologique du saumon.[24]

En outre, les variations de la température influent indirectement sur le poisson en modifiant les apports alimentaires et nutritifs et la dynamique prédateurs-proies. Les anomalies thermiques et les modifications des courants sont associées à des changements importants dans le type et la disponibilité saisonnière du plancton.[27] Il a aussi été démontré qu'une élévation des températures de l'eau de surface empêche les nutriants de parvenir à la surface de l'eau[28] et augmente les taux de prédation du saumon par d'autres poissons.[29]

On prévoit que le changement climatique augmentera la variabilité des débits des cours d'eau, avec des crues soudaines plus fréquentes et un abaissement des débits d'étiage (*voir* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »). Il devrait également déplacer la période des débits de pointe.[26] Ces changements auraient une influence sur la mortalité, le passage et l'habitat du saumon. Une diminution des débits pourrait avantager le saumon juvénile en réduisant les taux de mortalité et en augmentant le nombre de refuges.[30] Cependant, conjuguée à une élévation des températures à la fin de l'été et à l'automne, elle risquerait d'augmenter les taux de mortalité avant le frai.[2] Par ailleurs, une augmentation de la fréquence des crues soudaines pourrait endommager les lits de gravier que le saumon utilise pour frayer.[31] Les inondations pourraient également causer une mortalité massive par manque d'oxygène, étant donné que davantage de matières organiques seraient évacuées dans les estuaires.[2]

D'autres facteurs climatiques peuvent exercer une influence considérable sur les populations de saumon de la côte Ouest, notamment les changements de climat à l'échelle synoptique et la fréquence des événements extrêmes. Par exemple, des études ont montré que des variations abruptes de l'indice de dépression des Aléoutiennes s'accompagnent d'une diminution généralisée des taux de survie du coho en milieu marin.[32, 33] Selon d'autres études, les récentes baisses des populations de truite arc-en-ciel du Pacifique ont un rapport avec l'augmentation de la fréquence des tempêtes hivernales et des sécheresses estivales observée dans les années 1980 et 1990.[34] Ces événements extrêmes ont peut-être eu un effet sur la survie et la production du saumon, en perturbant et en détruisant des habitats.

La littérature récente au sujet de la côte du Pacifique porte en majeure partie sur le saumon, mais il est important de mentionner que le changement climatique aurait des conséquences pour d'autres types de poisson. Les poissons de fond ainsi que les mollusques et les crustacés sont importants pour l'économie de la région; la valeur des débarquements en 1998 se chiffrait à 115,8 millions de dollars pour les poissons de fond, et à 94,9 millions de dollars pour les mollusques et les crustacés.[4] Les variations des conditions marines auront un impact sur les récoltes durables, les pratiques de pêche et la pêche de subsistance.

Côte de l'Atlantique

L'industrie des pêches conserve une très grande importance dans l'économie de la côte de l'Atlantique, même si elle n'est plus aussi dominante qu'elle l'a déjà été.[35] Les prises de mollusques et de crustacés arrivent au premier rang par la valeur des débarquements,[4] et l'aquaculture gagne rapidement en importance. On estime à 43 000 le nombre de pêcheurs dans la région de l'Atlantique, et la plupart sont très dépendants de l'industrie des pêches.[35] Comme sur la côte du Pacifique, les pêches seront affectées principalement par les variations de la température des océans, la modification des courants, du régime des vents et des conditions atmosphériques, et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes.[36] Les espèces les plus préoccupantes sont la morue, le crabe des neiges et le saumon. On s'inquiète également des impacts du changement climatique sur différentes variétés de plancton.[2]

D'après les tendances à long terme, le climat contribue à déterminer quelles espèces de poisson se prêtent à la récolte.[37] Depuis récemment, les pêcheurs délaissent le poisson de fond au profit des mollusques et des crustacés. Ce changement est attribué principalement aux pratiques de pêche, mais on pense que le climat a également joué un rôle. Par exemple, on croit que la réduction des taux de croissance et de la productivité qui a découlé de l'abaissement des températures de l'eau à des niveaux inférieurs à la normale, à la fin des années 1980 et au début des années 1990, a contribué au déclin des stocks de poisson de fond.[38, 39]

Il est important de souligner la complexité des relations entre la température de l'eau et des facteurs tels que le taux de croissance et la productivité, les conditions thermiques optimales variant d'une espèce à l'autre. Par exemple, les chercheurs ont démontré que le crabe des neiges est particulièrement sensible aux changements environnementaux et que les variations de la température de l'eau affectent leur

reproduction et leur distribution (*voir* l'encadré 1). On observe également que la survie des œufs, le taux d'éclosion et la taille de la ponte de la plie rouge augmentent dans les eaux plus froides, ce qui fait dire à des chercheurs que, dans certaines régions, les récentes hausses de la température de l'eau ont contribué à la diminution observée de l'abondance du poisson.[40]

Le réchauffement de l'eau, l'élévation du niveau de la mer et les variations de la salinité sont tous des facteurs susceptibles d'influer sur les pathogènes marins[42] et de modifier la distribution et l'importance de certaines maladies marines. Cette affirmation s'appuie sur des phénomènes déjà observés, par exemple l'extension vers le nord de l'aire de propagation de la maladie de l'huître le long de la côte américaine au milieu des années 1980, par suite d'une tendance au réchauffement hivernal.[42] Par contre, des recherches ont démontré que certaines maladies du saumon diminuent ou même disparaissent avec le réchauffement.[42]

Un autre problème qui se pose dans la région de l'Atlantique est le risque d'une augmentation des proliférations d'algues.[43] Des chercheurs estiment en effet que le réchauffement climatique pourrait stimuler la croissance et étendre l'aire de dispersion des organismes responsables des proliférations d'algues toxiques, comme les eaux rouges (*voir* l'encadré 2). Ces efflorescences menacent les populations de mollusques et de crustacés par leurs effets mortels et leurs impacts chroniques. Les exploitations aquacoles, en raison de leur caractère sédentaire, sont particulièrement sensibles aux proliférations d'algues toxiques. Les palourdes sont généralement plus touchées que les homards, les crevettes et les pétoncles. Une exposition aux toxines risque d'affecter l'habitat du poisson, son comportement, sa vulnérabilité à la maladie, sa capacité de se nourrir et sa reproduction.[44] Une fois infectés, les mollusques peuvent constituer un danger pour la santé humaine et causer éventuellement une intoxication paralysante.

Les effets du changement climatique sur le saumon de l'Atlantique sont semblables à ceux dont nous avons parlé dans le cas du saumon du Pacifique. Durant son séjour en eau douce, le saumon de l'Atlantique est sensible aux variations de la température de l'eau comme aux variations des débits (*voir* l'encadré 3). On sait que les changements de température modifient considérablement les récoltes durables et les pratiques de pêche. Par exemple, les chercheurs

ENCADRÉ 1 : Température de l'eau et crabe des neiges de l'Atlantique[41]

Le crabe des neiges, un élément important des pêches dans l'Atlantique, est sensible au réchauffement climatique, surtout dans l'est de la Plate-forme Scotian et sur les Grands Bancs de Terre-Neuve. Les chercheurs ont observé une corrélation étroite entre la température de l'eau, d'une part, et la reproduction et la répartition de cette espèce, d'autre part, bien qu'elle dépende du stade de développement du crabe. Voici ce qu'ils ont constaté principalement :

- Les femelles incubent leurs œufs pendant un an dans les eaux dont la température est supérieure à 1 °C, et pendant deux ans dans les eaux plus froides. On en déduit que les femelles vivant dans des eaux chaudes pourraient produire deux fois plus d'œufs que celles qui vivent dans des eaux froides pendant toute leur période de fécondité.
- Le taux de survivance et le taux de croissance à long terme des juvéniles ont des valeurs optimales dans les eaux à température intermédiaire (de 0 à +1,5 °C).
- La distribution spatiale du crabe adolescent et adulte est influencée par la température de l'eau. Les eaux plus froides sont occupées par des spécimens jeunes et de petite taille, tandis que les eaux chaudes sont habitées par des individus plus âgés et plus gros. Cependant, on ne trouve aucun crabe dans des eaux de plus de 8 °C.

Photo : Gracieuseté de D. Gilbert.

Le crabe des neiges de l'Atlantique

ENCADRÉ 2 : Augmentation des proliférations d'algues toxiques[43]

Les efflorescences algales nuisibles (EAN) sont fréquentes dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, dans l'est du Canada. On craint qu'elles n'augmentent en fréquence et en intensité sous l'effet du changement climatique.

Afin de déterminer le rôle du climat dans les proliférations d'algues, Weise *et al.*[43] ont analysé des données hydrologiques, biologiques et météorologiques recueillies sur une dizaine d'années. Ils ont constaté que les pluies, le ruissellement local et le régime des vents ont une grande influence sur le développement des efflorescences algales. Celui-ci est favorisé par un fort ruissellement provenant des tributaires locaux, combiné à de longues périodes de vents faibles. Les proliférations d'algues plus intenses sont associées à des événements climatiques extrêmes, comme des épisodes de pluies abondantes. Si de telles conditions devaient se produire plus fréquemment, nous verrions probablement se multiplier les cas de proliférations d'algues toxiques dans l'est du Canada.

Image : Gracieuseté de Pêches et Océans Canada et de L. Bérard.

*Image par microsonde électronique d'*Alexandrium tamarense, *algue dont la prolifération donne lieu à des fleurs d'eau toxiques.*

qui étudient l'influence des températures de l'eau sur la pêche récréative du saumon dans les cours d'eau de Terre-Neuve ont constaté qu'entre 1975 et 1999, environ 28 p. 100 des rivières ont dû être fermées temporairement chaque année à cause d'une température de l'eau trop chaude ou d'un niveau d'eau trop bas.[45] Certaines années, plus de 70 p. 100 des cours d'eau ont subi le même sort. Ces fermetures de cours d'eau ont fait perdre entre 35 et 65 p. 100 des jours de pêche potentiels dans certaines régions, la période de 1995 à 1999 ayant été la pire à cet égard. Les chercheurs ont conclu que le changement climatique pourrait augmenter la fréquence des fermetures et réduire l'importance économique de la pêche récréative à Terre-Neuve.[45]

Il est largement reconnu qu'une variation de l'intensité et de la fréquence des événements extrêmes pourrait avoir un impact sur les pêches marines, mais les études à ce sujet sont relativement peu nombreuses. Dans une étude récente où l'on a examiné les effets des épisodes de sécheresse et d'inondation dans le réseau de la rivière Sainte-Marguerite, dans l'est du Québec, les chercheurs ont conclu que ces événements ont une incidence sur la taille moyenne du saumon à la fin de l'été, en causant une mortalité sélective chez les alevins.[47] Durant les sécheresses, les taux de mortalité étaient plus élevés chez les petits spécimens, alors que durant les inondations, ils l'étaient davantage chez les gros alevins. D'autres études, cependant, suggèrent que le saumon est plutôt résistant aux inondations.[48] Les auteurs d'une étude sur les cours d'eau du Nouveau-Brunswick ont observé que les inondations ne réduisaient pas sensiblement les valeurs moyennes des taux d'alimentation et des taux de croissance à long terme, en dépit des réductions ponctuelles des taux de croissance du saumon juvénile causées par tel ou tel épisode d'inondation.[48]

On considère généralement que l'aquaculture est relativement facile à adapter au changement climatique, même qu'on la voit comme un outil d'adaptation possible pour aider le secteur des pêches à composer avec le changement climatique. À l'échelle planétaire, la production aquacole augmente de façon soutenue depuis 1990, et on s'attend à ce qu'elle dépasse les captures en 2030.[8] L'industrie de l'aquaculture s'inquiète néanmoins de l'effet qu'une augmentation de la fréquence ou de l'intensité des événements extrêmes et les variations du régime des vents

ENCADRÉ 3 : Impact du changement climatique sur le saumon de l'Atlantique juvénile[48]

Le saumon de l'Atlantique est une espèce d'eau froide. Un réchauffement de l'eau sous l'effet du changement climatique pourrait avoir un impact négatif sur la croissance du poisson, le rendre plus sujet aux maladies et aux infections, augmenter les taux de mortalité et réduire la disponibilité des habitats favorables. La rivière Miramichi, au Nouveau-Brunswick, est située non loin de la limite sud de l'aire de répartition du saumon de l'Atlantique, et c'est pourquoi ses populations sont très sensibles aux variations de la température de l'eau et du débit. Les modèles indiquent que le changement climatique pourrait élever la température de l'eau de 2 °C, pour la porter à 5 °C, et réduire considérablement les débits d'étiage.

À l'aide de données recueillies sur une trentaine d'années, Swansberg et El Jabi[46] ont examiné les relations entre le climat, les paramètres hydrologiques et la longueur à la fourche du saumon juvénile dans la Miramichi. La longueur à la fourche est un indicateur de la croissance, dont dépendent également la concurrence, la prédation, la smoltification et la survie en mer du saumon. Les chercheurs ont observé une baisse considérable de la longueur à la fourche de l'alevin de saumon juvénile, baisse qu'ils ont associée au réchauffement enregistré pendant toute la période considérée. Ils en sont donc venus à la conclusion que le changement climatique aura un impact négatif sur la croissance du saumon juvénile dans la rivière Miramichi.

Photo : Gracieuseté de la Fédération du saumon atlantique et de G. van Ryckevorsel.

Saumon de l'Atlantique.

pourraient avoir sur le lessivage de déchets et de nutriments entre les installations aquacoles et les océans.[37] De plus, une élévation des températures de l'eau pourrait accroître le risque de maladies et nuire à la qualité de l'eau en modifiant les concentrations de bactéries, les concentrations d'oxygène dissous et les proliférations d'algues.[8] Le changement climatique pourrait également avoir une influence sur les types de cultures, puisque l'eau pourrait devenir trop chaude pour une espèce donnée mais convenir mieux à une autre.

Les impacts du changement climatique sur les terres humides côtières pourraient également se répercuter sur les pêches dans l'Atlantique, étant donné que les marais salants sont une importante source de matières organiques pour les pêches côtières et fournissent aux poissons un habitat essentiel. Les chercheurs estiment qu'une augmentation de la vitesse d'élévation du niveau de la mer par suite du changement climatique pourrait menacer un grand nombre de ces marais (*voir* la référence 49; *voir aussi* le chapitre intitulé « Les zones côtières »), avec les conséquences que cela aurait pour la productivité du poisson.

Côte de l'Arctique

Le changement climatique touchera plusieurs facettes de la vie dans le Nord canadien, notamment les pêches.[2] Si elles n'ont pas la portée économique des pêches pratiquées sur les côtes de l'Atlantique et du Pacifique, les pêches arctiques n'en sont pas moins importantes pour la subsistance des gens, le sport, le commerce et la conservation.[50] On reconnaît de plus en plus que les changements climatiques récents ont déjà un impact sur les poissons et les mammifères marins, impacts qui se répercutent sur les activités de subsistance et le mode de vie traditionnel des résidants. Par exemple, des rapports en provenance des Territoires du Nord-Ouest signalent des captures de saumon en dehors de l'aire de dispersion connue des espèces; le saumon rouge et le saumon rose ont été pêchés à Sachs Harbour, et le coho dans le Grand lac de l'Ours.[11] Ce sont peut-être là les premiers signes d'un changement dans la répartition des espèces.[15] À Sachs Harbour, le réchauffement récent et l'augmentation de la variabilité des conditions météorologiques printanières ont raccourci la saison de pêche en limitant l'accès aux camps, et les résidants de la localité ont observé des changements dans la disponibilité du poisson et du phoque.[51]

On croit que les variations de la couverture glacielle vont entrainer quelques-uns des changements les plus marqués dans les écosystèmes marins de l'Arctique (*voir* le chapitre intitulé « Les zones côtières »). Au moyen d'observations par satellite ou au sol, plusieurs études ont permis de constater une réduction appréciable de l'étendue de la couverture glacielle depuis une trentaine ou une quarantaine d'années (p. ex., référence 52), la décroissance des glaces de mer atteignant par endroits 9 p. 100 par décennie entre 1978 et 1998.[53] Des rapports[54] font état d'un amincissement considérable de la couverture glacielle de l'Arctique, de l'ordre de 40 p. 100 sur une période de 30 ans, mais certains chercheurs sont davantage enclins à attribuer ce phénomène à la dynamique et à la distribution des glaces de mer plutôt qu'à un amincissement généralisé à la grandeur du bassin.[55] Cela dit, la plupart des modèles climatiques prévoient que les glaces de mer vont diminuer en étendue et en épaisseur tout au long du siècle présent[52] et que la couverture glacielle estivale sera très limitée.[53, 56, 57]

La glace de mer est un déterminant majeur des interactions des écosystèmes terrestres et marins, et sa surface inférieure est un endroit propice à la croissance des algues et des invertébrés qui soutiennent la chaîne alimentaire marine.[58] Selon certaines études, une décroissance de la glace de mer pourrait menacer les stocks de morue polaire, dont la distribution et la diète dépendent fortement des conditions de la glace.[59] En revanche, elle pourrait aussi, à court terme, accroître le nombre et l'étendue des polinies (étendues récurrentes d'eau libre enclavées dans la glace de mer),[13] ce qui permettra à certaines espèces de bénéficier d'une augmentation des apports alimentaires. Des changements dans l'étendue, l'épaisseur et la prévisibilité de la couverture glacielle influeraient également sur les pratiques de pêche. Les variations de l'état des glaces de mer modifieraient la durée de la saison de pêche, la sûreté de la glace comme plate-forme de chasse, et peut-être aussi la composition des ressources halieutiques disponibles.

Les mammifères marins, notamment les ours polaires, les phoques et les baleines, qui contribuent largement à la diète et au revenu d'un grand nombre de résidants du Nord, sont notoirement sensibles au changement climatique. Par exemple, les variations de la température et des conditions de la glace de mer affectent les ours polaires directement et indirectement, surtout les populations qui se trouvent près de la limite sud de l'aire de distribution de l'espèce.[60] Dans la région occidentale de la baie d'Hudson, les chercheurs ont observé une détérioration de l'état de la population et une baisse du nombre de naissances chez les ours; ils associent ce phénomène aux récentes tendances au réchauffement, qui ont causé une débâcle prématurée et limité l'accès aux phoques essentiels à l'alimentation des ours.[60, 61] Le changement climatique peut aussi affecter les phoques, par une réduction de la prédation[58] de même que par une dégradation ou une perte de l'habitat.[59]

Les variations de l'état des glaces de mer auraient aussi un impact sur d'autres mammifères marins.[59] En effet, une contraction de la couverture glacielle pourrait réduire les quantités de phytoplancton, lequel se concentre en dessous et à la lisière des glaces et représente une source alimentaire essentielle pour le copépode et certaines espèces de poisson, comme la morue polaire, dont s'alimentent le narval et le béluga.[62] Par contre, une diminution de l'étendue des glaces de mer pourrait améliorer la production primaire en eau libre et, par le fait même, accroître les apports alimentaires. L'hiver, le risque que les baleines se retrouvent emprisonnées par les glaces pourrait augmenter, tandis que la diminution de la couverture glacielle dans les zones d'alevinage et d'alimentation risquerait d'accroître les taux de prédation.[63] Finalement, si l'étendue des glaces était réduite, il est probable que les chenaux seraient davantage empruntés par les navires marchands qui, par le bruit et la pollution qu'ils engendreraient, pourraient avoir un impact négatif sur les écosystèmes marins.[62]

Pêches en eau douce

Le Canada est doté du plus vaste réseau d'eau douce dans le monde, avec au-delà de deux millions de lacs et de cours d'eau couvrant plus de 755 000 kilomètres carrés.[2]

Le changement climatique aura également des impacts sur les pêches en eau douce, impacts qui se manifesteront principalement par des variations de la température de l'eau, de la répartition des espèces et de la qualité des habitats. Comme dans le cas des

pêches marines, il est important de reconnaître que les contraintes non climatiques exercées sur les écosystèmes continueront de se répercuter sur les pêches, d'où l'importance de comprendre les interactions du changement climatique et des facteurs de stress, qui sont essentiellement les changements de vocation des terres, les prélèvements d'eau[64] et l'introduction d'espèces allochtones.[65] D'autres problèmes se poseront aux pêches intérieures, du fait que le changement climatique causera des déséquilibres plus fréquents entre l'offre et la demande et que les ressources en eau feront l'objet d'une concurrence plus vive entre les secteurs (*voir* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »).

L'élévation des températures touchera de différentes façons les diverses espèces de poisson d'eau douce. L'ampleur des variations potentielles de la température sera beaucoup plus forte en eau douce que dans les milieux marins. Les espèces de poisson sont généralement réparties entre trois guildes (eau froide, eau tempérée et eau chaude), selon leur niche thermique optimale. Certains auteurs distinguent une quatrième guilde, celle des poissons arctiques, qui préfèrent des températures encore plus basses.[15] Autant les recherches en laboratoire que les recherches sur le terrain confirment qu'une hausse des températures est favorable aux poissons d'eau chaude, comme l'esturgeon et l'achigan, et néfaste aux poissons d'eau froide, comme la truite et le saumon (p. ex., référence 13). Ainsi, une élévation de 2 °C de la température de l'eau réduit le taux de croissance,[66] le taux de survie[67] et le succès de la reproduction[68] de la truite arc-en-ciel, alors qu'un réchauffement augmente le taux de croissance des populations d'esturgeon de lac.[69]

Le changement climatique affectera également les pêches en eau douce par les effets qu'il aura sur les niveaux d'eau (*voir* la référence 70; *voir aussi* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »). Un abaissement des niveaux d'eau dans les Grands Lacs, par suite d'une évaporation accrue et d'une variation des régimes de ruissellement et d'écoulement des eaux souterraines, menacerait les terres humides littorales qui fournissent au poisson des habitats et des terrains d'alevinage essentiels.[71] Dans le Saint-Laurent, il mettrait à découvert un nouveau substrat et pourrait faciliter l'invasion de plantes aquatiques exotiques ou agressives.[72] La baisse des niveaux d'eau dans les lacs des Prairies a augmenté la salinité de l'eau et eu des effets appréciables sur les organismes aquatiques.[73]

Le changement climatique aurait d'autres impacts importants, comme des variations de l'étendue et de l'épaisseur des glaces saisonnières[74, 75, 76, 77] et des changements dans la fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes. La couverture glacielle a une influence sur la productivité des lacs en contrôlant les apports de lumière et les concentrations d'oxygène dissous. Celles-ci diminuent progressivement tout au long de la période des glaces et peuvent chuter pour atteindre des niveaux que les poissons ne peuvent tolérer. Une diminution de la durée de la couverture glacielle pourrait donc réduire le taux de mortalité du poisson dû à l'hiver.[78] Il est démontré que les températures extrêmes, les vents violents, les très fortes précipitations et les tempêtes ont un impact sur la croissance, la reproduction et le métabolisme des espèces de poisson.[79] Une augmentation de l'intensité ou de la fréquence de ces événements par suite du changement climatique pourrait accroître considérablement la mortalité du poisson dans certains lacs.[79]

On croit que le changement déplacera les habitats favorables,[73] autant à l'intérieur des lacs que dans les bassins hydrographiques ou entre les bassins. Dans un grand nombre de lacs, la stratification saisonnière (p. ex., eaux de surface chaudes surmontant des eaux plus froides) produit une gamme d'habitats thermiques. La période et la taille des différentes zones thermiques sont fortement influencées par les conditions climatiques (*voir* l'encadré 4) ainsi que par les caractéristiques du lac. Par exemple, des études ont démontré que les lacs aux eaux claires sont plus sensibles au réchauffement climatique que les lacs qui laissent moins pénétrer la lumière.[80] Le changement climatique pourrait hâter la stratification saisonnière,[81] allonger la période de stratification estivale[77] et modifier le volume de chacune des couches.[73] Ces changements pourraient à leur tour modifier les espèces dominantes dans un lac et peut-être aussi faire disparaître de l'endroit certaines espèces de poisson.[82]

Le changement climatique entraînerait également des changements dans la distribution de certaines espèces de poisson. Des auteurs estiment que le réchauffement consécutif à un doublement des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère déplacerait la limite zoogéographique des espèces de poisson d'eau douce vers le nord sur une distance de 500 à 600 kilomètres,[70] à supposer que le poisson parvienne à s'adapter. En effet, un certain nombre de facteurs seraient susceptibles d'entraver ce changement, notamment l'absence de

routes migratoires et un réchauffement des eaux qui confinerait le poisson dans les eaux d'amont.[65] Ces variations de la répartition des espèces influeraient sur l'exploitation durable du poisson dans les lacs et les rivières.

ENCADRÉ 4 : Effet de la stratification lacustre sur la variation de la température de l'eau[82]

On prévoit que le changement climatique influera à la fois sur la taille et sur la température des différentes zones thermiques qui composent les eaux d'un lac. Les variations spatiales et temporelles de la niche thermique affecteront les habitudes d'alimentation, la productivité et la reproduction de certaines espèces, dont la perchaude et le touladi. La couche supérieure se réchauffera sous l'action de l'élévation des températures de l'air, mais l'impact sur les strates inférieures est moins certain. Procédant par modélisation, Hesslein *et al.*[82] ont conclu que le réchauffement des couches profondes serait principalement la conséquence d'une augmentation de la clarté des eaux et d'un accroissement concomitant de la pénétration du rayonnement solaire. Les variations du régime des précipitations auraient un effet sur la clarté des eaux lacustres, en modifiant le ruissellement provenant des terres environnantes. Les variations de la clarté des eaux lacustres seraient vraisemblablement maximales dans les lacs peu profonds.

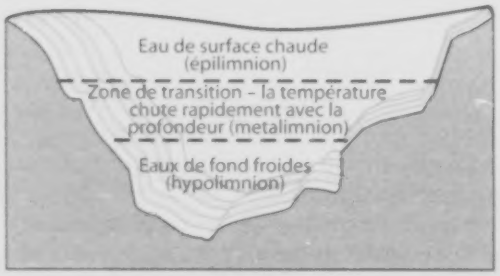


Schéma d'un lac stratifié.

L'invasion d'espèces nouvelles et exotiques soumettrait les écosystèmes aquatiques à des stress additionnels. Par exemple, on pense que les poissons d'eau chaude migreront vers des régions actuellement occupées par des espèces d'eau froide et tempérées. Dans les Grands Lacs, on prévoit que les eaux de ballast évacuées par les cargos continueront d'introduire des espèces exotiques.[83] Or, comme la plupart de ces espèces proviennent d'eaux plus chaudes de la région pontocaspienne, l'avantage qu'elles ont par rapport aux espèces d'eau froide indigènes des Grands Lacs devrait s'accentuer à mesure que le changement climatique élèvera la température des eaux des lacs.[73] En plus d'accroître les disparitions d'espèces,[70] l'introduction de nouvelles espèces pourrait avoir des effets appréciables sur les chaînes alimentaires aquatiques et le fonctionnement des écosystèmes.[84]

Le changement climatique pourrait exacerber les problèmes actuels de qualité de l'eau, ce qui aurait aussi un impact sur les pêches (*voir* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »). Par exemple, s'il est vrai que la contamination du poisson par les métaux a toujours été un sujet de préoccupation dans l'Arctique, de nouvelles données semblent indiquer que le réchauffement pourrait aggraver la situation en accentuant l'assimilation des métaux lourds par le poisson. Des accumulations élevées de cadmium et de plomb dans l'organisme de l'omble chevalier ont été attribuées à une augmentation des taux de métabolisme du poisson sous l'effet de la hausse des températures de l'eau et à un allongement de l'inter-glaciel (*voir* la référence 85; *voir aussi* le chapitre intitulé « La santé et le bien-être humains »). Une eau de piètre qualité peut affecter les pêches en déplaçant les populations de poisson, causer une mortalité massive ou rendre le poisson impropre à la consommation.

Un grand nombre d'études indiquent que les facteurs climatiques, en particulier la température et la sécheresse, sont des déterminants majeurs de l'acidité de l'eau et d'un large éventail de processus biologiques et géochimiques.[75, 86, 87, 88, 89] Par exemple, on a observé qu'une élévation de la température de l'eau accroît l'activité microbiologique, qui accentue la mobilisation des métaux présents dans le substrat.[88] Comme l'adaptation du poisson est possible dans une certaine fourchette de conditions environnementales, une modification de l'un ou l'autre de ces facteurs est susceptible de causer du stress et d'augmenter le taux de mortalité chez certaines espèces de poisson.

Adaptation

« La gestion durable des pêches exigera une information scientifique exacte et à jour sur les conditions environnementales qui influent sur les stocks de poisson. Elle réclamera également une certaine souplesse institutionnelle pour prendre des décisions rapides à la lumière de cette information. »[90]

Si l'on sait généralement peu de choses sur la capacité d'adaptation de l'industrie canadienne des pêches au changement climatique,[2] on reconnaît de plus en plus la nécessité de prévoir les changements potentiels et de s'y préparer, et on se rend compte aussi que les décisions prises aujourd'hui influeront sur les vulnérabilités futures. Une foule de solutions d'adaptation différentes s'offrent au secteur des pêches, la plupart modelées sur des mesures qui ont été prises par le passé en réponse à des stress non climatiques.[113]

De nombreux intervenants du secteur des pêches semblent se préoccuper du changement climatique, mais, dans l'ensemble, ils demeurent optimistes quant à leur capacité d'adaptation.[59, 91] Cette confiance, cependant, implique que les changements s'opèrent de façon graduelle et prévisible, ce qui ne sera pas nécessairement le cas. Un défi de taille pour les organismes de réglementation, les pêcheurs et les autres intervenants sera de rajuster leurs politiques et leurs façons de faire de manière judicieuse et le plus tôt possible, afin de s'adapter aux modifications de la répartition et de l'abondance relative des diverses espèces de poisson sous l'effet du changement climatique.

Les données nous indiquent que les écosystèmes marins sont relativement tolérants aux changements qui surviennent dans leur environnement,[8] et que les poissons d'eau douce modifieront leur habitat et leur aire de répartition en fonction des variations du régime des températures.[70] Il y a lieu de craindre, toutefois, que la capacité d'adaptation des systèmes naturels ne puisse suivre le rythme du changement climatique.[63] En outre, la capacité d'adaptation peut différer considérablement d'une espèce à l'autre. Par exemple, les espèces mobiles, comme les poissons, les étrilles et les crevettes, devraient être en mesure de migrer rapidement vers un habitat qui leur est plus propice par suite d'une élévation des températures; par contre, les espèces moins mobiles, comme les palourdes et les huîtres, auront besoin de plus de temps.[8] Les caractéristiques du cycle de vie pourraient également affecter la tolérance des différentes espèces de poisson. Ainsi, les espèces à grande longévité ont plus de chances de survivre à des conditions moins favorables à la reproduction,[92] tandis que les espèces qui se reproduisent plus rapidement et qui parviennent à maturité plus tôt sont plus susceptibles de se remettre d'une longue période de déclin de la population.[93]

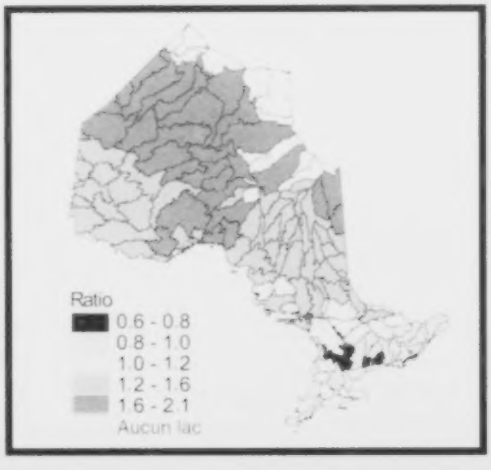
Mesures pour faciliter l'adaptation

Les gestionnaires des pêches et d'autres intervenants peuvent contribuer à améliorer la capacité d'adaptation des poissons proprement dits et celle du secteur des pêches, en adoucissant les stress non climatiques qui s'exercent sur les populations de poisson, comme la pollution, les captures et la dégradation de l'habitat.[94] Il est également important de maintenir la diversité génétique et la diversité des âges au sein des sous-populations. Les mesures de ce type sont dites « sans regret », dans la mesure où elles seront avantageuses avec ou sans changement climatique.

Il est particulièrement important de déterminer à quels endroits les changements se produisent, afin de rajuster les lignes directrices qui limitent les prises des diverses espèces de poisson dans la perspective d'une récolte durable. L'observation des changements d'origine climatique aidera les gestionnaires des pêches et les gouvernements à déterminer quelles espèces pourraient réclamer une protection accrue, et lesquelles se prêtent à l'exploitation. Par exemple, au fur et à mesure de l'élévation des températures de l'eau dans certains lacs de l'Ontario, les poissons d'eau chaude pourraient se prêter mieux à la pêche à la ligne que les poissons d'eau froide (*voir* l'encadré 5). Pour améliorer et protéger l'habitat du poisson le long des côtes marines, on pourrait notamment désigner certaines régions comme des zones de protection marine.[95] Pour une plus grande efficacité, de telles zones devraient être désignées en tenant compte des changements climatiques anticipés.

ENCADRÉ 5 : Adaptation de la pêche récréative au changement climatique[96]

La pêche récréative est une activité populaire qui attire les touristes et qui constitue une importante source de revenus dans plusieurs régions du Canada. Une élévation des températures de l'eau pourrait avoir un impact négatif sur certaines populations d'espèces sportives et modifier considérablement les rendements soutenus (*voir* la figure ci-dessous). Shuter *et al.*[96], qui se sont penchés sur la question en Ontario, suggèrent que les gestionnaires des pêches considèrent des solutions de compromis entre les pêches en eau froide, en eau modérée et en eau chaude. Par exemple, dans les régions où l'on s'attend à un déclin de certaines espèces d'eau froide, comme la truite mouchetée, les gestionnaires des activités de pêche récréative pourraient se tourner vers des espèces d'eau chaude, comme la perche, qui, croit-on, seraient avantagées par un réchauffement du climat. Cette mesure d'adaptation pourrait augmenter la tolérance de l'industrie de la pêche récréative et atténuer les pertes pouvant résulter du changement climatique.



Variations relatives du rendement soutenu maximal du doré jaune en Ontario dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration de CO_2. À noter la réduction du rendement soutenu maximal dans le sud de la province, et l'augmentation dans le centre et le nord.

Les régimes de réglementation peuvent également avoir une grande influence sur la capacité des pêcheurs de s'adapter au changement climatique. Actuellement, les permis commerciaux autorisent les pêcheurs à capturer des espèces précises à des endroits précis. Or, pour capturer une espèce différente ou pêcher à un endroit différent, il leur faudrait obtenir une autorisation et peut-être même se faire remettre un nouveau permis. Il pourrait donc être nécessaire de réévaluer les régimes de réglementation actuels dans le contexte du changement climatique et de les modifier en conséquence.

De nombreuses collectivités de petite taille sont lourdement tributaires des pêches et, à ce titre, elles pourraient fortement ressentir l'impact du changement climatique sur les récoltes durables. Une approche de la gestion des pêches axée sur la conservation (p. ex., références 50 et 97) prend en compte les facteurs biologiques et environnementaux, de même que les valeurs socio-économiques,[97] et tente de faire participer activement les pêcheurs et autres groupes concernés. Pêches et Océans Canada élabore actuellement, à la faveur de la Révision de la politique sur les pêches de l'Atlantique, une politique cadre qui s'appuie sur ces principes.

Aquaculture

L'industrie de l'aquaculture a généralement confiance dans sa capacité de s'adapter au changement climatique. Elle estime qu'elle pourrait bénéficier d'un allongement des saisons de croissance et d'une extension des aires de récolte.[98] Parmi les stratégies proposées pour s'adapter au changement climatique, mentionnons l'instauration de systèmes aquacoles fermés et l'utilisation des navires-citernes excédentaires pour élever les poissons dans un environnement isolé à atmosphère contrôlée.[98]

Certains facteurs environnementaux et sociaux, toutefois, pourraient limiter la capacité de l'industrie aquacole de s'adapter rapidement au changement climatique (p. ex., références 18 et 99). L'aquaculture est réglementée de façon stricte, de sorte qu'il n'est pas simple ni efficace de déménager des installations existantes vers un autre lieu d'exploitation ou de changer de type de poisson d'élevage. Il est donc nécessaire de mettre l'accent sur la prévision et la planification des solutions d'adaptation au changement climatique. L'intérêt manifesté par les intervenants

de l'industrie de l'aquaculture de la côte du Pacifique pour la sélection et l'approbation préalable de nouveaux sites d'exploitation en fonction de divers scénarios de changement climatique[98] témoigne d'un tel besoin.

Recherche et communication

Pour accroître la capacité d'adaptation du secteur des pêches, il faut augmenter la participation des intervenants au processus décisionnel, améliorer la qualité de l'information offerte au public, créer des bases de données faciles d'accès et multiplier les liens de communication entre l'industrie, le secteur public, les chercheurs, les collectivités côtières et la population.[2] L'Internet est considéré comme un outil approprié pour la diffusion de l'information,[60] mais des méthodes plus traditionnelles, comme des ateliers et des assemblées municipales, pourraient également convenir.

Une meilleure communication contribuera également à faciliter et à rendre plus efficace la collaboration entre les scientifiques, le secteur public, les utilisateurs traditionnels des ressources et la population.[43] Les projets de recherche en collaboration peuvent se pencher sur des questions régionales (*voir* l'encadré 6) ou aborder des sujets qui préoccupent l'ensemble des Canadiens ou la communauté internationale.[103] Pour que ces projets soient fructueux et que leurs résultats aient une influence sur les orientations et les décisions, la participation des intervenants est nécessaire d'un bout à l'autre du processus de recherche. Une des tâches des chercheurs et des décideurs est de s'assurer que les résultats des recherches sont vraiment intégrés dans le processus décisionnel (p. ex., référence 101).

La modélisation des écosystèmes marins est encore un domaine de recherche relativement nouveau, et les études futures sur le sujet pourraient apporter une large contribution à l'élaboration des stratégies d'adaptation les plus judicieuses. Des moyens ont été recommandés pour améliorer les études de modélisation, notamment des recherches visant à mieux définir les liens entre les espèces et l'environnement, et l'amélioration de la collaboration interdisciplinaire.[15] Il est également important d'intégrer les connaissances locales des pêcheurs et des gestionnaires des pêches.[14]

ENCADRÉ 6 : Faciliter la collaboration dans la région du Bouclier boréal[102]

Des recherches en milieu aquatique se font depuis plusieurs décennies dans l'écozone du Bouclier boréal. En fait, plusieurs sites de cette région ont déjà été ou sont actuellement le théâtre de recherches de classe mondiale. Il existe donc une profusion de données, d'informations et de connaissances que l'on peut mettre à profit dans la recherche sur le changement climatique. La communication et la collaboration entre les centres de recherche constituent sans doute le meilleur moyen de le faire. Arnott *et al.*[102] ont donc organisé un atelier grâce auquel ils ont établi un cadre pour coordonner les études sur les impacts du changement climatique et contribué à resserrer les liens entre les chercheurs. Depuis cet atelier, il s'est formé un réseau et un institut de coordination et plusieurs projets ont été lancés en collaboration.

Photo : Gracieuseté de la banque de photos de Ressources naturelles Canada.

Lacunes sur le plan des connaissances et besoins en matière de recherche

De nombreuses incertitudes subsistent à propos des impacts du changement climatique sur les pêches canadiennes et sur les mesures d'adaptation possibles. Les écosystèmes marins sont extrêmement complexes, et de plus amples recherches seront nécessaires pour mieux comprendre les processus sous-jacents qui influent sur la biodiversité, la distribution et l'abondance du poisson, de même que leur réaction au changement climatique. Par exemple, une meilleure compréhension des relations entre l'habitat aquatique et les populations de poisson, ainsi que des liens entre les paramètres climatiques et l'habitat aquatique est nécessaire. Les écosystèmes d'eau douce sont généralement mieux connus que les environnements marins, mais ils soulèvent tout de même un grand nombre de questions. Le problème de l'adaptation, qui, au demeurant, n'est pas nouveau dans le secteur des pêches, doit être examiné plus en profondeur dans le contexte du changement climatique et des régimes de réglementation actuels. Il faut aussi se pencher sur de nouvelles questions, comme celle de la gestion intergouvernementale des ressources dans le contexte du changement climatique, et intégrer les résultats de ces études dans les politiques canadiennes en matière de délivrance de permis et dans les traités internationaux (p. ex., références 2 et 103). Voici quelques recommandations issues des études que nous avons citées dans le présent chapitre :

Impacts

1) Amélioration de l'observation et de la prévision des impacts du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes.

2) Étude des impacts d'un changement climatique rapide et des événements extrêmes sur le secteur des pêches.

3) Meilleure prise en compte des connaissances locales dans l'évaluation des impacts.

4) Recherches portant plus particulièrement sur les impacts des variations des conditions océaniques, comme les courants marins et les glaces de mer, sur le poisson.

5) Études qui s'intéressent aux conséquences socio-économiques du changement climatique pour les pêches en eau salée et en eau douce.

Adaptation

1) Méthodologies pour améliorer la communication et la collaboration entre les scientifiques, les décideurs et les intervenants.

2) Études sur les meilleures méthodes pour accroître la tolérance des systèmes de pêche et leur capacité d'adaptation au changement climatique.

3) Études sur le rôle de l'aquaculture dans l'adaptation au changement climatique.

4) Élaboration de modèles d'adaptation qui tiennent compte des connaissances des scientifiques, des gestionnaires des pêches et des pêcheurs.

5) Recherches ciblées pour faciliter l'élaboration des politiques et des programmes qui permettront aux collectivités côtières de s'adapter aux variations quantitatives et qualitatives des ressources halieutiques.

Conclusion

Les variations des conditions climatiques ont eu par le passé des effets importants sur les écosystèmes d'eau salée et d'eau douce, et il est donc permis de prévoir que le changement climatique aura un impact sur le secteur des pêches au Canada. Les poissons et les autres espèces aquatiques sont sensibles aux conditions environnementales et réagiront certainement aux variations des températures de l'air et de l'eau, des précipitations, des courants, de la couverture glacielle et des autres paramètres qui subissent l'influence du climat. Nous pouvons nous attendre à des changements sur plusieurs plans : distribution des espèces, croissance du poisson, susceptibilité du poisson aux maladies et interactions compétitives des espèces. Tous ces changements auront un impact sur les récoltes durables, et ce partout au pays. Cela dit, il est difficile de distinguer les impacts du changement climatique des autres facteurs de stress qui s'exercent sur les pêches. En outre, les corrélations, même directes, entre des variables telles que la température de l'eau et les ressources halieutiques sont souvent d'une grande complexité.

Des mesures d'adaptation seront nécessaires pour réduire la vulnérabilité du secteur des pêches. Le changement climatique peut être intégré dès maintenant à la gestion du risque dans le secteur des pêches, en même temps que les chercheurs et les intervenants poursuivent leurs travaux pour approfondir les connaissances sur les écosystèmes aquatiques et leur comportement face au changement. Compte tenu des incertitudes qui subsistent à propos de la nature des changements qui s'annoncent, il faudrait mettre l'accent sur des activités de gestion et de conservation qui favorisent l'exploitation durable des ressources et la préservation de l'habitat, et qui contribuent à assurer la présence de sous-populations bien portantes sur de vastes étendues. Parmi les autres éléments importants de la stratégie de lutte contre le changement climatique, il faut améliorer l'accessibilité et la disponibilité de l'information par des activités accrues de recherche et de communication, de même qu'augmenter la souplesse et la tolérance de l'industrie des pêches.

Références

Les références en caractères gras désignent des rapports portant sur des travaux financés dans le cadre du Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada.

(1) Pêches et Océans Canada. *Info-Éclair*, 2001. Disponible en ligne à http://www.dfo-mpo.gc.ca/communic/facts-info/facts-info_f.htm (accès en décembre 2002).

(2) Pêches et Océans Canada. *DFO Climate Variability and Change Impacts and Adaptations Research for Canada's Marine and Freshwater Fisheries: Summary, Program Framework, Workshop Proceedings and Background Report*, août 2000, 101 p.

(3) Pêches et Océans Canada. *Importations intérieures de certaines marchandises par groupe d'espèces et espèces*, 2002. Disponible en ligne à http://www.dfo-mpo.gc.ca/communic/statistics/french/trade/F_MSPS01.HTM (accès en décembre 2002).

(4) Statistique Canada. *Valeur de la pêche selon l'espèce*, 2002. Disponible en ligne à http://www.statcan.ca/francais/Pgdb/prim70_f.htm (accès en décembre 2002).

(5) Albritton, D.L. et L.G.M. Filho. « Technical summary », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), Cambridge University Press, 2001, pp. 21-84. Contribution du Groupe de travail I au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm (accès en décembre 2002).

(6) McGinn, N.A. *Fisheries in a Changing Climate*, American Fisheries Society, 2002, 319 p.

(7) Montevecchi, W.A. et R.A. Myers. « Centurial and decadal oceanographic influences on changes in northern gannet populations and diets in the northwest Atlantic: implications for climate change », *ICES Journal of Marine Science = Journal du conseil international*, vol. 54, nº 4, 1997, pp. 608-614.

(8) Kennedy, V.S., R.R. Twilley, J.A. Kleypas, J.H. Cowan, Jr. et S.R. Hare. *Coastal and Marine Ecosystems and Global Climate Change: Potential Effects on U.S. Resources*, Pew Center on Global Climate Change, 2002, 52 p.

(9) Jackson, D.A. et N.E. Mandrak. « Changing fish biodiversity: predicting the loss of cyprinid biodiversity due to global climate change », dans *Fisheries in a Changing Climate*, N.A. McGinn (éd.), American Fisheries Society, 2002, 319 p.

(10) Beamish, R.J. et D.J. Noakes. « The role of climate in the past, present and future of Pacific salmon fisheries off the west coast of Canada », dans *Fisheries in a Changing Climate*, N.A. McGinn (éd.), American Fisheries Society, 2002, 319 p.

(11) Babaluk, J.A., J.D. Reist, J.D. Johnson et L. Johnson. « First records of sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and pink salmon (*O. gorbuscha*) from Banks Island and other records of Pacific salmon in Northwest Territories, Canada », *Arctic*, vol. 53, nº 2, 2000, pp. 161-164.

(12) Peterman, R.M., B.J. Pyper et J.A. Grout. « Comparison of parameter estimation methods for detecting climate-induced changes in productivity of Pacific salmon (*Oncorhynchus spp.*) », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, nº 1, 2000, pp. 181-191.

(13) Shuter, B.J., C.K. Minns, H.A. Regier et J.D. Reist. « Étude pancanadienne sur l'adaptation à la variabilité et au changement climatique – Secteur des pêches », dans *Impacts et adaptation à la variabilité et au changement du climat : questions sectorielles*, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, vol. VII, 1998, pp. 277-344.

(14) Mackinson, S. « Integrating local and scientific knowledge: an example in fisheries science », *Environmental Management*, vol. 27, nº 4, 2001, pp. 533-545.

(15) Hoffman, E.E. et T.M. Powell. « Environmental variability effects on marine fisheries: four case histories », *Ecological Applications*, vol. 81, nº 1, 1998, pp. S23-S32.

(16) Government of British Columbia. *Statistics, 2001*. Disponible en ligne à www.bcfisheries.gov.bc.ca/stats/statistics.html (accès en décembre 2002).

(17) Beamish, R.J. « Why a strategy for managing salmon in a changing climate is urgently needed », dans *Climate Change and Salmon Stocks*, Vancouver (Colombie-Britannique), Conseil pour la conservation des ressources halieutiques du Pacifique, 1999.

(18) Noakes, D.J., R.J. Beamish et M.L. Kent. « On the decline of Pacific salmon and speculative links to salmon farming in British Columbia », *Aquaculture*, vol. 183, nºs 3-4, 2000, pp. 363-386.

(19) Fluharty, D.L. « Characterization and assessment of economic systems in the interior Columbia Basin: fisheries », *General Technical Reports*, U.S. Department of Agriculture Forest Service, PNW-GTR-451, 2000, pp. 1-114.

(20) Ward, B.R. « Declivity in steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) recruitment at the Keogh River over the past decade », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, 2000, pp. 298-306.

(21) Finney, B.P., I. Gregory-Eaves, M.S.V. Douglas et J.P. Smol. « Fisheries productivity in the northeastern Pacific Ocean over the past 2200 years », *Nature*, vol. 416, 2002, pp. 729-733.

(22) Cox, S.P. et S.G. Hinch. « Changes in size at maturity of Fraser River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) (1952-1993) and associations with temperature », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 54, 1997, pp. 1159-1165.

(23) Welch, D.W., Y. Ishida et K. Nagasawa. « Thermal limits and ocean migrations of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): long-term consequences of global warming », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 55, 1998, pp. 937-948.

(24) Downton, M.W. et K.A. Miller. « Relationships between Alaska salmon catch and north Pacific climate on interannual and interdecadal time scale », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 55, 1998, pp. 2255-2265.

(25) Quinn, T.P., S. Hodgson et C. Peven. « Temperature, flow, and the migration of adult sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in the Columbia River », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 54, 1997, pp. 1349-1360.

(26) Morrison, J., M.C. Quick et M.G.G. Foreman. « Climate change in the Fraser River watershed: flow and temperature projections », *Journal of Hydrology*, vol. 263, nos 1-4, 2002, pp. 230-244.

(27) Mackas, D.L., R.E. Thomson et M. Galbraith. « Changes in the zooplankton community of British Columbia continental margin, and covariation with oceanic conditions, 1985-1999 », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, 2001, pp. 685-702.

(28) Whitney, F. *Climate change and salmon stocks*, Vancouver (Colombie-Britannique), Conseil pour la conservation des ressources halieutiques du Pacifique, 1999.

(29) Petersen, J.H. et J.F. Kitchell. « Climate regimes and water temperature changes in the Columbia River: bioenergetic implication for predators of juvenile salmon », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, 2001, pp. 1831-1841.

(30) Smith, B.D. « Trends in wild adult steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) abundance for snowmelt-driven watersheds of British Columbia in relation to freshwater discharge », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, no 2, 2000, pp. 285-297.

(31) Narcisse, A. « Panel discussion: what are the most alarming potential impacts of climate change on salmon stocks? » dans *Climate Change and Salmon Stocks*, Vancouver (Colombie-Britannique), Conseil pour la conservation des ressources halieutiques du Pacifique, 1999.

(32) Beamish, R.J., D.J. Noakes, G.A. McFarlane, W. Pinnix, R. Sweeting et J. King. « Trends in coho marine survival in relation to the regime concept », *Fisheries Oceanography*, vol. 9, no 1, 2000, pp. 114-119.

(33) McFarlane, G.A., J.R. King et R.J. Beamish. « Have there been recent changes in climate? Ask the fish », *Progress in Oceanography*, vol. 47, nos 2-4, 2000, pp. 147-169.

(34) Ward, B.R. « Declivity in steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) recruitment at the Keogh River over the past decade », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, no 2, 2000, pp. 298-306.

(35) Gough, J. « Les grands enjeux de la gestion des pêches de l'Atlantique », dans *Mer et monde : Les pêches de la côte est du Canada*, Musée canadien des civilisations, 2001. Disponible en ligne à www.civilization.ca/hist/lifelines/gough2f.html (accès en décembre 2002).

(36) Shaw, R.W. (éd.). *Climate variability and climate change in Atlantic Canada : Actes d'un atelier tenu à Halifax, en Nouvelle-Écosse, du 3 au 6 décembre 1996*. Environnement Canada, région de l'Atlantique, rapport occasionnel 9, 1997.

(37) Drinkwater, K.F. « Impacts of climate variability on Atlantic Canadian fish and shellfish stocks », dans *Climate Variability and Climate Change in Atlantic Canada: Actes d'un atelier tenu à Halifax, en Nouvelle-Écosse, du 3 au 6 décembre 1996*, R.W. Shaw (éd.), Environnement Canada, région de l'Atlantique, rapport occasionnel no 9, 1997.

(38) Dutil, J.D., M. Castonguay, D. Gilbert et D. Gascon. « Growth, condition, and environmental relationships in Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the northern Gulf of St. Lawrence and implications for management strategies in the northwest Atlantic », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 56, 1999, pp. 1818-1831.

(39) Colbourne, E., B. deYoung et G.A. Rose. « Environmental analysis of Atlantic cod (*Gadus morhua*) migration in relation to the seasonal variation on the northeast Newfoundland Shelf », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 54, suppl. 1, 1997, pp. 149-157.

(40) Keller, A.A. et G. Klein-MacPhee. « Impact of elevated temperature on the growth, survival, and trophic dynamics of winter flounder larvæ: a mesocosm study », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, 2000, pp. 2382-2392.

(41) **Gilbert, D. *Effects of a warmer ocean climate under 2 x CO_2 atmosphere on the reproduction and distribution of snow crab in eastern Canada*, 2001. Rapport inédit rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(42) Harvell, C.D., C.E. Mitchell, J.R. Ward, S. Altizer, A.P. Dobson, R.S. Ostfeld et M.D. Samuel. « Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota », *Science*, vol. 296, 2002, pp. 2158-2162.

(43) **Weise, A.M., M. Levasseur, F.J. Saucier, S. Senneville, A. Vézina, E Bonneau, G. Sauvé et S. Roy. *The role of rainfall, river run-off and wind on toxic A. tamarense bloom dynamics in the Gulf of St. Lawrence (eastern Canada): analysis of historical data*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(44) Burkholder, J.M. « Implications of harmful microalgæ and heterotrophic dinoflagellates in management of sustainable marine fisheries », *Ecological Applications*, vol. 8, no S1, 1998, pp. S37-S62.

(45) Dempson, J.B., M.F. O'Connell et N.M. Cochrane. « Potential impact of climate warming on recreational fishing opportunities for Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) in Newfoundland, Canada », *Fisheries Management and Ecology*, vol. 8, no 1, 2001, pp. 69-82.

(46) **Swansberg, E. et N. El-Jabi. *Impact of climate change on river water temperatures and fish growth*, 2001. Rapport inédit rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(47) Good, S.P., J.J. Dodson, M.G. Meekan et D.A.J. Ryan. « Annual variation in size-selective mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, 2001, pp. 1187-1195.

(48) Arndt, S.K.A., R.A. Cunjak et T.J. Benfey. « Effect of summer floods and spatial-temporal scale on growth and feeding of juvenile Atlantic salmon in two New Brunswick streams », *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 131, nº 4, 2002, pp. 607-622.

(49) **Chmura, G. *The fate of salt marshes in Atlantic Canada*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(50) Pêches et Océans Canada (région du Centre et de l'Arctique). « Recherche sur l'Arctique », 2001b. Disponible en ligne à http://www.dfo-mpo.gc.ca/regions/CENTRAL/index_f.htm (accès en décembre 2002).

(51) Riedlinger, D. « Responding to climate change in northern communities: impacts and adaptations », *Arctic*, vol. 4, nº 1, 2001, pp. 96-98.

(52) Vinnikov, K.Y., A. Robock, R.J. Stouffer, J.E. Walsh, C.L. Parkinson, D.J. Cavalieri, J.F.B. Mitchell, D. Garrett et V.F. Zakharov. « Global warming and northern hemisphere sea ice extent », *Science*, vol. 286, 1999, pp. 1934-1937.

(53) Comiso, J.C. « A rapidly declining perennial sea ice cover in the Arctic », *Geophysical Research Letters*, vol. 29, nº 20, 2002, pp. 17.1-17.4.

(54) Rothrock, D.A., Y. Yu et G.A. Maykut. « Thinning of the Arctic sea-ice cover », *Geophysical Research Letters*, 1999, vol. 26, nº 23, p. 3469.

(55) Holloway, G. et T. Sou. « Is Arctic sea ice rapidly thinning? », *Meridian*, automne-hiver 2001, pp. 8-10.

(56) Kerr, R.A. « Whither Arctic ice? Less of it, for sure », *Science*, vol. 297, 2002, pp. 1491.

(57) Kerr, R.A. « Will the Arctic Ocean lose all its ice? », *Science*, vol. 286, 1999, p. 1828.

(58) Hansell, R.I.C., J.R. Malcolm, H. Welch, R.L. Jefferies et P.A. Scott. « Atmospheric change and biodiversity in the Arctic » *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 49, nºs 2-3, 1998, pp. 303-325.

(59) Tynan, C.T. et D.P. DeMaster. « Observations and predictions of Arctic climatic change: potential effects on marine mammals », *Arctic*, vol. 50, nº 4, 1997, pp. 308-322.

(60) Churchill Northern Studies Centre. « Addressing climate change in Hudson Bay: an integrated approach », *Compte rendu de la conférence Circumpolar Ecosystems 2000 tenue à Churchill, Manitoba, du 16 au 23 février 2000*, 2000, 26 p.

(61) Stirling, I., N.J. Lunn et J. Iacozza. « Long-term trends in the population ecology of polar bears in western Hudson Bay in relation to climatic change », *Arctic*, vol. 52, nº 3, 1999, pp. 294-306.

(62) Burns, W.C.G. *From the harpoon to the heat: climate change and the International Whaling Commission in the 21st Century*, 2000. Rapport rédigé pour le Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security. Disponible en ligne à http://www.pacinst.org/IWCOP.pdf (accès en décembre 2002).

(63) Finley, K.J. « Natural history and conservation of the Greenland whale, or bowhead, in the northwest Atlantic », *Arctic*, vol. 54, nº 1, 2001, pp. 55-76.

(64) Meyer, J.L., M.J. Sale, P.J. Mulholland et N.L. Poff. « Impacts of climate change on aquatic ecosystem functioning and health », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, nº 6, 1999, pp. 1373-1384.

(65) Hauer, F.R., J.S. Baron, D.H. Campbell, K.D. Fausch, S.W. Hostetler, G.H. Leavesley, P.R. Leavitt, D.M. McKnight et J.A. Stanford. « Assessment of climate change and freshwater ecosystems of the Rocky Mountains, USA and Canada », *Hydrological Processes*, vol. 11, nº 8, 1997, pp. 903-924.

(66) Dockray, J.J., I.J. Morgan, S.D. Reid et C.M. Wood. « Responses of juvenile rainbow trout, under food limitation, to chronic low pH and elevated summer temperatures, alone and in combination », *Journal of Fish Biology*, vol. 52, nº 1, 1998, pp. 62-82.

(67) Reid, S.D., J.J. Dockray, T.K. Linton, D.G. McDonald et C.M. Wood. « Effects of chronic environmental acidification and a summer global warming scenario: protein synthesis in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 54, 1997, pp. 2014-2024.

(68) Van Winkle, W.K., K.A. Rose, B.J. Shuter, H.I. Jager et B.D. Holcomb. « Effects of climatic temperature change on growth, survival, and reproduction of rainbow trout: predictions from a simulation model », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 54, 1997, pp. 2526-2542.

(69) Lebreton, G.T.O. et F.W.H. Beamish. « Interannual growth variation in fish and tree rings », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, 2000, pp. 2345-2356.

(70) Magnuson, J.J., K.E. Webster, R.A. Assel, C.J. Bowser, P.J. Dillon, J.G. Eaton, H.E. Evans, E.J. Fee, R.I. Hall, L.R. Mortsch, D.W. Schindler et F.H. Quinn. « Potential effects of climate changes on aquatic systems: Laurentian Great Lakes and Precambrian Shield region », *Hydrological Processes*, vol. 11, nº 8, 1997, pp. 825-871.

(71) Mortsch, L.D. « Assessing the impact of climate change on the Great Lakes shoreline wetlands », *Climatic Change*, vol. 40, nº 2, 1998, pp. 391-416.

(72) Hudon, C. « Impact of water level fluctuations on St. Lawrence River aquatic vegetation », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 54, nº 12, 1997, pp. 2853-2865.

(73) Schindler, D.W. « The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, nº 1, 2001, pp. 18-29.

(74) Fang, X. et H.G. Stefan. « Potential climate warming effects on ice covers of small lakes in the contiguous U.S. », *Cold Regions Science and Technology*, vol. 27, nº 2, 1998, pp. 119-140.

(75) Schindler, D.W. « A dim future for boreal waters and landscapes», *BioScience*, vol. 48, nº 3, 1998, pp. 157-164.

(76) Hostetler, S.W. et E.E. Small. « Response of North American freshwater lakes to simulated future climates », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, nº 6, 1999, pp. 1625-1637.

(77) Fang, X. et H.G. Stefan. « Projections of climate change effects on water temperature characteristics of small lakes in the contiguous U.S. », *Climatic Change*, vol. 42, nº 2, 1999, pp. 377-412.

(78) Fang, X. et H.G. Stefan. « Projected climate change effects on winterkill in shallow lakes in the northern United States », *Environmental Management*, vol. 25, nº 3, 2000, pp. 291-304.

(79) Choi, J.S. « Lake ecosystem responses to rapid climate change », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 49, 1998, pp. 281-290.

(80) Snucins, E. et J. Gunn. « Interannual variation in the thermal structure of clear and colored lakes », *Limnology and Oceanography*, vol. 45, 2000, pp. 1639-1646.

(81) King, J.R., B.J. Shuter et A.P. Zimmerman. « Empirical links between thermal habitat, fish growth, and climate change », *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 128, nº 4, 1999, pp. 656-665.

(82) **Hesslein, R.H., M.A. Turner, S.E.M. Kasian et D. Guss. *The potential for climate change to interact with the recovery of Boreal lakes from acidification — a preliminary investigation using ELA's database.* Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, 2001.**

(83) Ricciardi, A. et J.B. Rasmussen. « Predicting the identity and impact of future biological invaders: a priority for aquatic resource management », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 55, 1998, pp. 1759-1765.

(84) Vander Zanden, M.J., J.M. Casselman et J.B. Rasmussen. « Stable isotope evidence for the food web consequences of species invasions in lakes », *Nature*, vol. 401, 1999, pp. 464-467.

(85) Köck, G., C. Doblander, W. Wieser, B. Berger et D. Bright. « Fish from sensitive ecosystems as bioindicators of global climate change: metal accumulation and stress response in char from small lakes in the high Arctic », *Zoology*, vol. 104, suppl. IV, 2001, p. 18.

(86) Clair, T.A., J. Ehrman et K. Higuchi. « Changes to the runoff of Canadian ecozones under a doubled CO_2 atmosphere », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 55, nº 11, 1998, pp. 2464-2477.

(87) Devito, K.J., A.R. Hill et P.J. Dillon. « Episodic sulphate export from wetlands in acidified headwater catchments: prediction at the landscape scale », *Biogeochemistry*, vol. 44, 1999, pp. 187-203.

(88) **Turner, M. *Testing the reversibility of climate change impacts on in-lake metabolism of dissolved organic carbon and its aftermath for Boreal forest lakes*, 2001. Rapport inédit rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(89) Warren, F.J., J.M. Waddington, S.M. Day et R. Bourbonniere. « The effect of drought on hydrology and sulphate dynamics in a temperate wetland », *Hydrological Processes*, vol. 15, nº 16, 2001, pp. 3133-3150.

(90) Cohen, S., K. Miller, K. Duncan, E. Gregorich, P. Groffman, P. Kovacs, V. Magaña, D. McKnight, E. Mills et D. Schimel. « North America », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.). Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, 2001, pp. 735-800. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en décembre 2002).

(91) Cohen, S.J. « What if and so what in northwest Canada: could climate change make a difference to the future of the Mackenzie Basin? », *Arctic*, vol. 50, nº 4, 1997, pp. 293-307.

(92) Beamish, R.J. « An essay by Dr. Richard J. Beamish », *In Cites*, septembre 2002. Disponible en ligne à http://www.in-cites.com/scientists/DrRichardBeamish.html (accès en décembre 2002).

(93) Hutchings, J.A. « Collapse and recovery of marine fishes », *Nature*, vol. 406, 2002, pp. 882-885.

(94) Troadec, J.P. « Adaptation opportunities to climate variability and change in the exploitation and utilisation of marine living resources », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 61, n° 1, 2000, pp. 101-112.

(95) Jamieson, G.S. et C.O. Levings. « Marine protected areas in Canada — implications for both conservation and fisheries management », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, 2001, pp. 138-156.

(96) **Shuter, B.J., C.K. Minns et N. Lester. *Climate change, freshwater fish and fisheries: case studies from Ontario and their use in assessing potential impacts*, 2002. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(97) Langton, R.W. et R.L. Haedrich. « Ecosystem-based management », dans *Northwest Atlantic Groundfish: Perspectives on a Fishery Collapse*, J. Boreman, B.S. Nakashima, J.A. Wilson et R.L. Kendall (éd.), Bethesda (Maryland), American Fisheries Society, 1997, pp. 111-138.

(98) Institut canadien d'études climatologiques. *Sustainable seafood in a changing climate: workshop report, University of Victoria, May 25 - 26, 2000*, 2000. Disponible en ligne à www.cics.uvic.ca/workshop/ (accès en mai 2003).

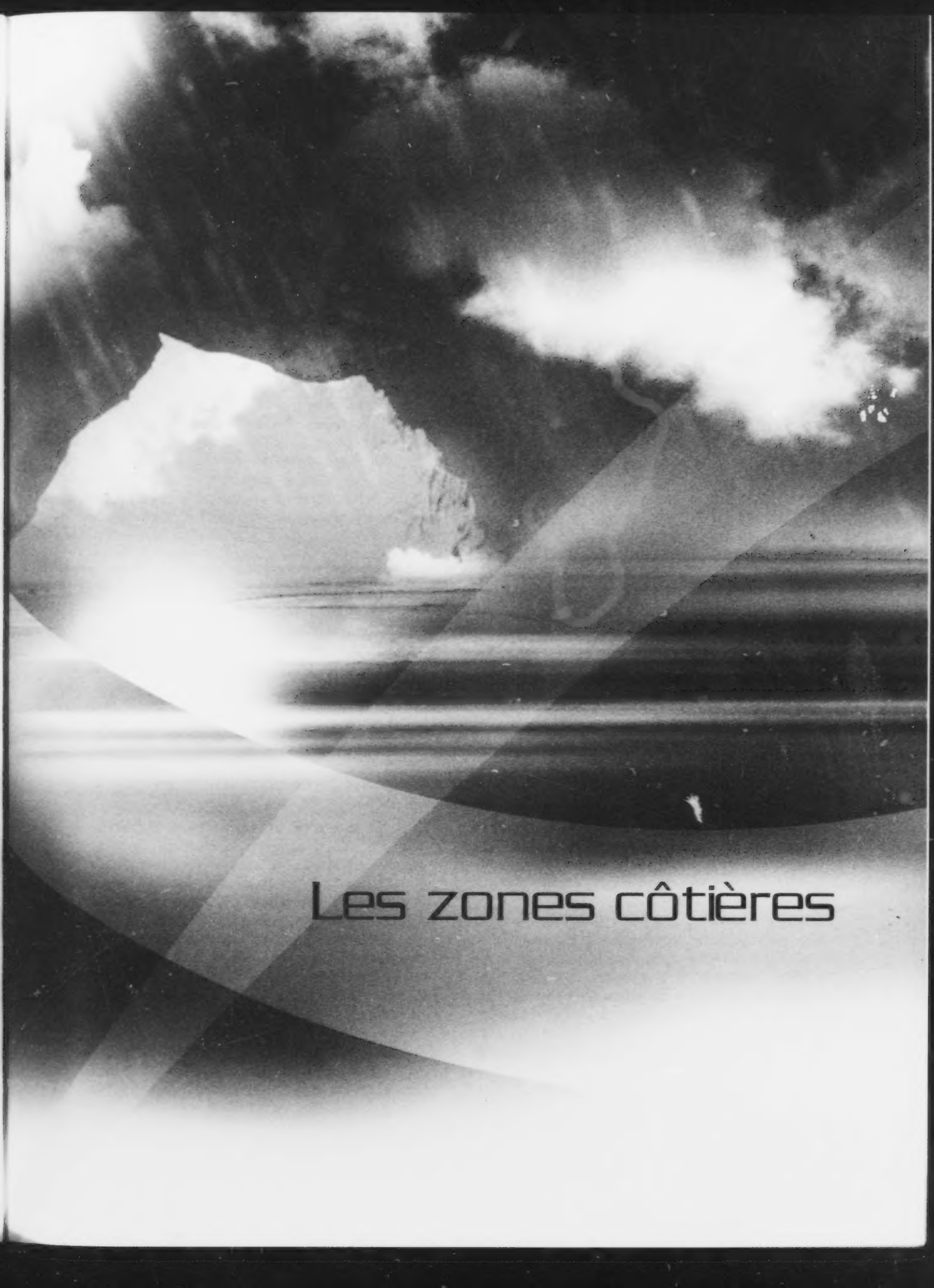
(99) Youngson, A.F. et E. Verspoor. « Interactions between wild and introduced Atlantic salmon (*Salmo salar*) », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 55, suppl. 1, 1998, pp. 153-160.

(100) Wilzbach, M.A., M.E. Mather, C.L. Folt, A. Moore, R.J. Naiman, A.F. Youngson et J. McMenemy. « Proactive responses to human impacts that balance development and Atlantic salmon (*Salmo salar*) conservation: an integrative model », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 55, 1998, pp. 288-302.

(101) Jones, S.A., B. Fischhoff et D. Lach. « An integrated impact assessment of the effects of climate change on the Pacific Northwest salmon fishery », *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 16, n° 3, 1998, pp. 227-237.

(102) **Arnott, S., J. Gunn et N. Yan. *The effects of long-term climate change and short-term climate-related events on the biota of Boreal shield lakes*, 2001. Rapport inédit rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(103) Miller, K.A. « Pacific salmon fisheries: climate, information and adaptation in a conflict-ridden context », *Climatic Change*, vol. 45, n° 1, 2000, pp. 37-61.



Les zones côtières

« Quelque sept millions de Canadiens vivent dans les zones côtières, souvent dans de petites collectivités tributaires du tourisme et des ressources de l'océan. »[1]

Le Canada est le pays qui a le plus long littoral océanique, avec ses 240 000 kilomètres de côtes.[2] Cette vaste zone côtière, qui désigne d'une façon générale les eaux à proximité du littoral et les terres adjacentes, forme un lien dynamique entre des terres et des eaux d'une grande diversité écologique, dont l'importance économique est cruciale.[3] Les estuaires, les plages, les dunes, les milieux humides et les zones intertidales et littorales servent de support à diverses espèces d'animaux marins et terrestres, en plus de jouer un rôle primordial dans les pêches et les activités récréatives. L'infrastructure côtière est essentielle aux secteurs du commerce, des transports et du tourisme, et vitale pour de nombreuses municipalités côtières. Il existe une autre zone qui joue un rôle analogue en bordure des lacs de grande étendue; c'est pourquoi les Grands Lacs, en particulier, sont souvent inclus dans les discussions qui portent sur les zones côtières du Canada.[4] En fait, d'autres grands lacs du Canada suscitent des questions analogues (p. ex., référence 5).

Des changements de climat de l'ampleur de ceux que prévoit le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour le présent siècle toucheraient les zones côtières de diverses manières. Mentionnons, entre autres, l'élévation des niveaux d'eau, la modification du régime des vagues, la magnitude des ondes de tempête, ainsi que la durée de la saison des glaces et leur épaisseur.[3] En règle générale, on accorde beaucoup d'attention aux variations des niveaux d'eau, qui auraient une ampleur considérable, quoique variable, dans toutes les zones côtières. Le long du littoral marin, les variations des niveaux d'eau subiront surtout l'influence de l'élévation moyenne du niveau de la mer à l'échelle planétaire, du fait de l'expansion thermique des océans et de l'intensification de la fonte des glaciers et des calottes glaciaires.[6, 7] Sur les rives des lacs de grande étendue, les variations des niveaux d'eau seront liées à la modification du régime régional de précipitation et d'évaporation. Dans le cas des Grands Lacs, on s'attend à une baisse des niveaux d'eau dans les prochaines décennies (*voir* la référence 8; *voir aussi* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »).

Même s'il existe un fort consensus scientifique sur l'élévation continue du niveau moyen de la mer à l'échelle planétaire au cours du présent siècle et par la suite, certaines incertitudes persistent quant à l'ampleur de ce changement. Les projections du GIEC, établies selon divers scénarios concernant les émissions, situent l'élévation du niveau moyen des mers dans un intervalle compris entre 9 et 88 centimètres pendant la période de 1990 à 2100.[7] La largeur considérable de cet intervalle s'explique à la fois par la variabilité des projections des températures et par les lacunes dans nos connaissances sur les processus océaniques et hydrologiques.[7] Il est également important de reconnaître que le niveau de la mer continuera de s'élever, et peut-être plus rapidement, au cours du prochain siècle, en raison du décalage entre l'augmentation des températures atmosphériques, le réchauffement des océans et la fonte des glaciers.

Dans la perspective des impacts et de l'adaptation, ce sont les variations locales du niveau relatif de la mer qui importent, et leur courbe pourrait être très différente de celle des variations à l'échelle planétaire. Outre les changements de climat, les variations du niveau marin à l'échelle régionale seront influencés par les processus géologiques de la croûte et du manteau terrestres qui modifient la position relative des continents et des océans. De plus, les changements que subiront le régime des courants, le phénomène de la remontée des eaux, l'amplitude de la marée et d'autres processus océaniques auront également une influence sur le niveau relatif de la mer à l'échelle locale. À l'heure actuelle, sur de longues portions des côtes de l'Arctique canadien, le niveau de la mer s'abaisse en réaction aux processus géologiques, alors qu'il s'élève à d'autres endroits, notamment sur une bonne partie des côtes de l'Atlantique et de la mer de Beaufort.[9] À certains endroits, l'ampleur de la variation du niveau marin est le résultat de l'action conjuguée de tous ces facteurs. Par conséquent, les variations du niveau marin ne se produiront pas au même rythme dans toutes les régions du pays.

« Quelque sept millions de Canadiens vivent dans les zones côtières, souvent dans de petites collectivités tributaires du tourisme et des ressources de l'océan. »[1]

Le Canada est le pays qui a le plus long littoral océanique, avec ses 240 000 kilomètres de côtes. [2] Cette vaste zone côtière, qui désigne d'une façon générale les eaux à proximité du littoral et les terres adjacentes, forme un lien dynamique entre des terres et des eaux d'une grande diversité écologique, dont l'importance économique est cruciale. [3] Les estuaires, les plages, les dunes, les milieux humides et les zones intertidales et littorales servent de support à diverses espèces d'animaux marins et terrestres, en plus de jouer un rôle primordial dans les pêches et les activités récréatives. L'infrastructure côtière est essentielle aux secteurs du commerce, des transports et du tourisme, et vitale pour de nombreuses municipalités côtières. Il existe une autre zone qui joue un rôle analogue en bordure des lacs de grande envergure; c'est pourquoi les Grands Lacs, en particulier, sont souvent inclus dans les discussions qui portent sur les zones côtières du Canada. [4] En fait, d'autres grands lacs du Canada suscitent des questions analogues (p. ex., référence 5).

Des changements de climat de l'ampleur de ceux que prévoit le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour le présent siècle toucheraient les zones côtières de diverses manières. Mentionnons, entre autres, l'élévation des niveaux d'eau, la modification du régime des vagues, la magnitude des ondes de tempête, ainsi que la durée de la saison des glaces et leur épaisseur. [6] En règle générale, on accorde beaucoup d'attention aux variations des niveaux d'eau, qui auraient une ampleur considérable, quoique variable, dans toutes les zones côtières. Le long du littoral marin, les variations des niveaux d'eau subiront surtout l'influence de l'élévation moyenne du niveau de la mer à l'échelle planétaire, du fait de l'expansion thermique des océans et de l'intensification de la fonte des glaciers et des calottes glaciaires. [7] Sur les rives des lacs de grande étendue, les variations des niveaux d'eau seront liées à la modification du régime régional de précipitation et d'évaporation. Dans le cas des Grands Lacs, on s'attend à une baisse des niveaux d'eau dans les prochaines décennies (*voir* la référence 8; *voir aussi* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »).

Même s'il existe un fort consensus scientifique sur l'élévation continue du niveau moyen de la mer à l'échelle planétaire au cours du présent siècle et par la suite, certaines incertitudes persistent quant à l'ampleur de ce changement. Les projections du GIEC, établies selon divers scénarios concernant les émissions, situent l'élévation du niveau moyen des mers dans un intervalle compris entre 9 et 88 centimètres pendant la période de 1990 à 2100. [8] La largeur considérable de cet intervalle s'explique à la fois par la variabilité des projections des températures et par les lacunes dans nos connaissances sur les processus océaniques et hydrologiques. [9] Il est également important de reconnaître que le niveau de la mer continuera de s'élever, et peut-être plus rapidement, au cours du prochain siècle, en raison du décalage entre l'augmentation des températures atmosphériques, le réchauffement des océans et la fonte des glaciers.

Dans la perspective des impacts et de l'adaptation, ce sont les variations locales du niveau relatif de la mer qui importent, et leur courbe pourrait être très différente de celle des variations à l'échelle planétaire. Outre les changements de climat, les variations du niveau marin à l'échelle régionale seront influencées par les processus géologiques de la croûte et du manteau terrestres qui modifient la position relative des continents et des océans. De plus, les changements que subiront le régime des courants, le phénomène de la remontée des eaux, l'amplitude de la marée et d'autres processus océaniques auront également une influence sur le niveau relatif de la mer à l'échelle locale. À l'heure actuelle, sur de longues portions des côtes de l'Arctique canadien, le niveau de la mer s'abaisse en réaction aux processus géologiques, alors qu'il s'élève à d'autres endroits, notamment sur une bonne partie des côtes de l'Atlantique et de la mer de Beaufort. [10] À certains endroits, l'ampleur de la variation du niveau marin est le résultat de l'action conjuguée de tous ces facteurs. Par conséquent, les variations du niveau marin ne se produiront pas au même rythme dans toutes les régions du pays.

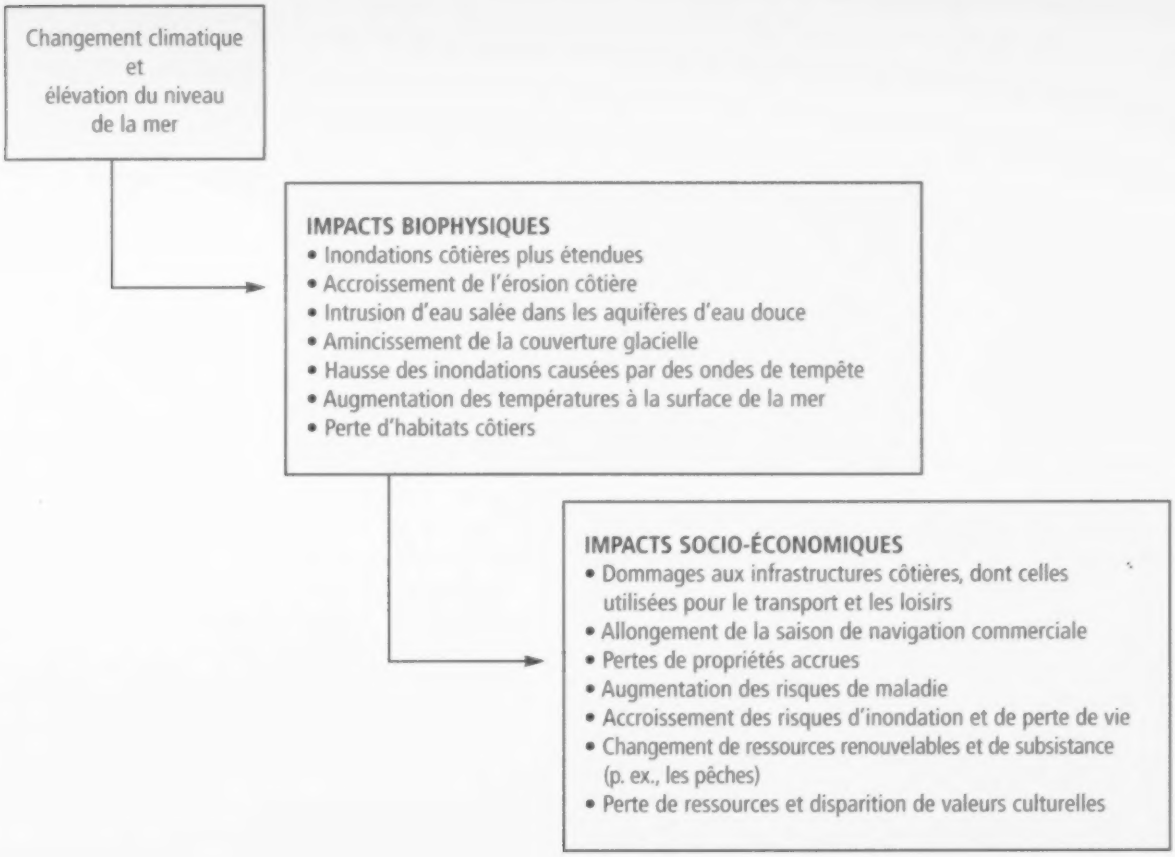
FIGURE 1 : Sensibilité du littoral marin du Canada à une élévation du niveau de la mer[9]

Une évaluation initiale de la sensibilité du littoral canadien à l'élévation du niveau de la mer, présentée par Shaw *et al.*,[10] conclut que plus de 7 000 kilomètres de côtes sont très sensibles, dont une bonne partie des Maritimes, une grande portion du littoral baigné par la mer de Beaufort et la région du delta du Fraser, en Colombie-Britannique (*voir* la figure 1). La sensibilité dépend de divers facteurs, notamment les caractéristiques géologiques du littoral (p. ex., le type de roche, le relief, la topographie côtière) et les processus océaniques (p. ex., l'amplitude de la marée, la hauteur des vagues). Il est également primordial de déterminer si le niveau de la mer s'élève ou s'abaisse actuellement le long du littoral, afin d'établir sa sensibilité aux changements de climat futurs.

Sur le plan physiographique, une élévation rapide du niveau de la mer aurait principalement pour effet d'accélérer les changements littoraux qui se produisent actuellement dans les zones côtières. L'érosion et le recul des plages, l'érosion des falaises et la migration vers les terres des îles-barrières se poursuivraient, mais de façon plus rapide et généralisée.[9] L'inondation des basses terres côtières et l'accroissement des ondes de tempêtes causant des inondations sont également des préoccupations importantes. Il pourrait résulter de ces changements toute une série d'impacts biophysiques et socio-économiques le long des zones côtières (*voir* la figure 2) qui, à terme, auraient une incidence sur divers secteurs, notamment les pêches, les transports, le tourisme et les loisirs, de même que sur les collectivités.

La baisse des niveaux d'eau dans les Grands Lacs sous l'action du changement climatique aurait une incidence marquée sur les collectivités côtières, leur infrastructure et les activités qui s'y déroulent. Ces impacts seront parfois bénéfiques (comme l'élargissement des plages, la réduction des inondations), mais souvent négatifs. Par exemple, des niveaux d'eau trop bas pourraient nécessiter des travaux de dragage dans des marinas et des ports, imposer des restrictions à la circulation des navires commerciaux et réduire l'approvisionnement en eau des municipalités riveraines.[11]

FIGURE 2 : Impacts biophysiques et socio-économiques potentiels du changement climatique dans les zones côtières (extrait modifié tiré de la référence 3)



Notre réaction et notre capacité d'adaptation joueront un rôle important dans l'établissement de la vulnérabilité des zones côtières au changement climatique. Le présent chapitre examine les impacts potentiels du changement climatique sur les régions côtières du Canada et les secteurs riverains des Grands Lacs, en mettant principalement l'accent sur les infrastructures et les collectivités. Le débat qui s'est engagé autour des mesures d'adaptation potentielles témoigne de la complexité des problèmes auxquels sont confrontés les gestionnaires des ressources et les collectivités dans ce contexte particulier. Il ressort d'un examen de la littérature parue à ce sujet que l'on met l'accent sur les impacts physiques tout en admettant la nécessité d'intensifier la recherche sur les impacts socio-économiques potentiels du changement climatique. Les diverses préoccupations d'ordre biologique et écologique que peut susciter la réalité du changement climatique dans les zones côtières sont traitées principalement dans le chapitre du présent rapport intitulé « Les pêches ».

Études antérieures

« Les changements climatiques peuvent avoir des impacts considérables sur la stabilité côtière et les risques d'inondations et de tempêtes, de même que sur l'activité socio-économique ou l'investissement dans la zone côtière. »[12]

Dans le cadre de l'Étude pancanadienne, les questions particulières aux zones côtières ont été abordées dans les volumes régionaux de l'Étude sur le Canada atlantique,[12] la Colombie-Britannique,[13] l'Arctique[6] et l'Ontario.[14] Ces documents définissent largement les impacts potentiels du changement climatique. Voici un résumé des conclusions de chacune de ces études régionales en ce qui a trait aux zones côtières.

L'élévation du niveau de la mer est une préoccupation importante pour les provinces de l'Atlantique, où la côte subit une lente submersion depuis plusieurs milliers d'années en raison de facteurs non climatiques.[12] Le changement climatique à l'échelle planétaire contribuerait à l'accélérer. Parmi les principaux impacts potentiels, mentionnons l'accélération des changements littoraux, les inondations, les dommages et les pertes matérielles attribuables aux tempêtes, sans oublier les effets sur les infrastructures publiques (p. ex., pétrole et gaz) et les installations portuaires, qui sont particulièrement sensibles à ces phénomènes.[12] Les collectivités qui sont déjà vulnérables à l'érosion côtière et aux inondations causées par des tempêtes ou aux impacts des ondes de tempête seraient davantage menacées.

Dans la région de l'Arctique canadien, une hausse des températures de l'air et de l'eau entrainerait un allongement de la saison sans glace et un accroissement des zones d'eau libre, d'où une intensification de la formation de vagues, une augmentation de la fréquence des ondes de tempête, et un accroissement de l'érosion du littoral et des inondations.[10] Ces phénomènes se traduiraient par une diminution de la stabilité côtière, qui pourrait être plus rapide dans certaines régions en raison de la dégradation du pergélisol dans la composante terrestre des zones côtières. On s'attend également à ce que ces impacts soient plus prononcés le long de la côte de la mer de Beaufort, notamment dans le delta du Mackenzie et la péninsule de Tuktoyaktuk, où l'on observe actuellement une élévation du niveau relatif de la mer.[10]

Dans certaines parties de la côte ouest du Canada, le changement climatique pourrait accentuer l'érosion ou la sédimentation et provoquer l'inondation des terres basses. Parmi les autres impacts potentiels figurent la perte de milieux humides, la modification de l'aire de distribution et de l'abondance des espèces et l'altération de la structure des écosystèmes. Il ne faut pas négliger non plus l'importance des coûts économiques potentiels liés à la protection des collectivités côtières et à l'alimentation des plages, particulièrement dans la grande région de Vancouver.[13]

Par ailleurs, les niveaux d'eau moyens des Grands Lacs pourraient baisser à des niveaux sans précédent vers le milieu du siècle.[14] Il va sans dire qu'une telle baisse aurait des effets négatifs sur la navigation commerciale et les installations littorales, car elle entrainerait une augmentation des coûts d'exploitation des ports et des chenaux de navigation dans le réseau des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent. De plus, des facteurs comme les fluctuations de la température de l'eau, la durée de la saison des glaces et le régime des tempêtes influeraient sur les changements littoraux, les écosystèmes, les infrastructures et l'industrie récréotouristique dans la zone côtière des Grands Lacs.

Dans l'Étude pancanadienne, l'adaptation au changement climatique en milieu littoral s'articule autour de stratégies de retrait, d'accommodement et de protection, comme le propose également le GIEC.[12, 13] Dans la plupart des cas, les impacts pourraient être réduits par des stratégies de retrait et d'accommodement, alors que la protection peut nécessiter des investissements importants qui ne pourraient se justifier que dans des régions où l'infrastructure fixe est menacée.[12] Ces trois stratégies sont illustrées à l'aide d'exemples plus loin dans le présent chapitre.

Impacts

S'appuyant sur les travaux résumés dans l'Étude pancanadienne, les recherches récentes en milieu côtier ont évalué plus en détail la vulnérabilité de certaines zones précises, souvent avec l'aide d'études de cas.

Impacts sur le littoral marin

« Dans plusieurs régions côtières, le changement climatique entrainera une augmentation de l'amplitude des inondations, une accélération de l'érosion, une perte de terres humides (…) et l'intrusion d'eau salée dans des aquifères d'eau douce. »[15]

Les impacts du changement climatique sur les trois littoraux du Canada seront déterminés principalement par les variations du niveau de la mer, ainsi que par l'étendue et la gravité des tempêtes.[3] L'accroissement de l'action des vagues, l'amincissement de la couverture glacielle, l'augmentation de la température du sol et l'intensification de l'activité des ondes de tempête contribueront également aux impacts nets et auront des implications importantes pour les collectivités et les infrastructures côtières.[3] En général, on s'attend à ce que le changement climatique accentue les risques dans toutes les zones côtières.[16]

Côte de l'Atlantique

« Dans les Maritimes, une élévation du niveau de la mer pourrait avoir une incidence sur un grand nombre de structures et d'activités humaines. (…) On craint particulièrement l'inondation et la rupture de digues dans la baie de Fundy. »[17]

Selon les analyses de Shaw *et al.*,[9] la sensibilité à l'élévation du niveau de la mer varie de moyenne à élevée sur plus de 80 p. 100 du littoral de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard (*voir* la figure 1). Parmi les zones très sensibles figurent toute la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard, la côte du Nouveau-Brunswick baignée par le golfe, une bonne portion du littoral atlantique de la Nouvelle-Écosse et des parties des centres urbains de Charlottetown et de Saint John. On considère généralement le littoral accidenté et rocailleux de Terre-Neuve et du Labrador comme peu sensible à une élévation du niveau de la mer; cependant, cette province comporte des zones côtières basses de sensibilité moyenne à élevée où vivent plusieurs collectivités.

Une élévation accélérée du niveau de la mer entraînerait l'inondation des basses terres et l'érosion de certains littoraux. Des portions de la côte seraient submergées de façon permanente;[10] des marais côtiers d'eau douce se saliniseraient, et l'on devrait relever les digues entourant les régions intertidales afin d'éviter les inondations dues aux ondes de tempête. Une élévation rapide du niveau de la mer pourrait également submerger les marais salés actuels, menaçant les régions où la migration des marais vers les terres est impossible en raison, par exemple, des infrastructures existantes. On a également établi un lien entre les impacts de l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes, d'une part, et le dépérissement des forêts situées en bordure de la mer à certains endroits, d'autre part, du fait de l'élévation de la nappe phréatique et de l'infiltration d'eau salée.[18] La présence d'eau salée dans les aquifères côtiers est aussi une préoccupation pour les collectivités côtières qui en dépendent pour leur approvisionnement en eau douce.

Outre l'élévation du niveau de la mer, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes et l'amincissement de la couverture glacielle qui sont attribuables au changement climatique pourraient avoir des effets sur la région de l'Atlantique.[12]

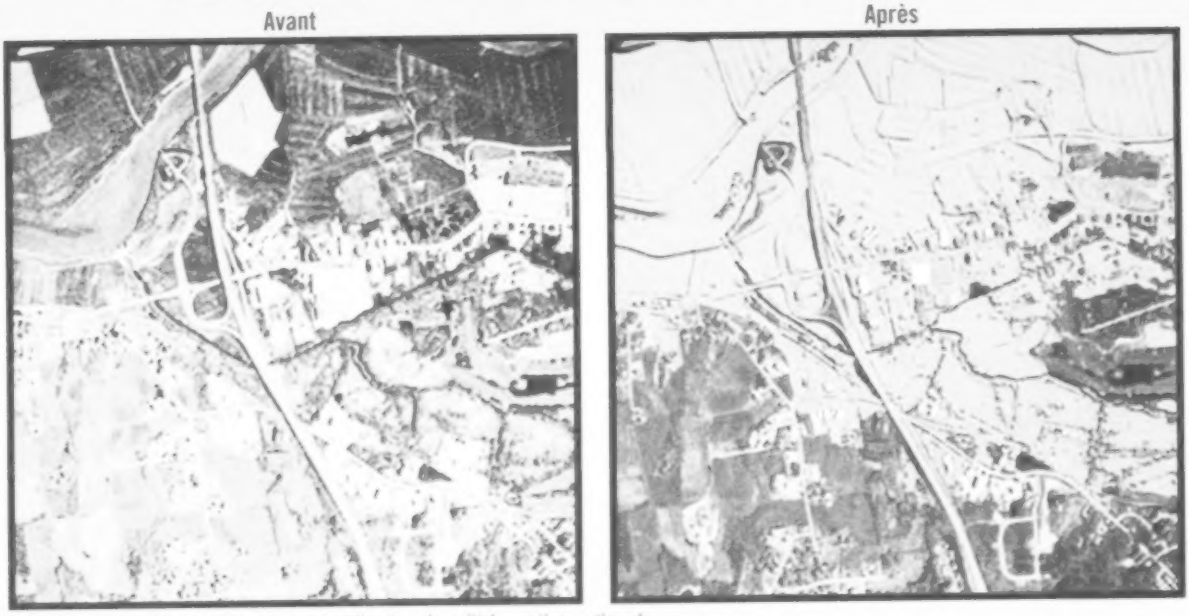
Un accroissement de la fréquence des tempêtes, déjà préoccupant en soi, augmenterait la probabilité de tempêtes intenses au moment de la marée haute ainsi que les risques de niveaux d'eau extrêmes et d'inondation le long des côtes. Une diminution de l'étendue des glaces de mer saisonnières intensifierait la formation et l'énergie des vagues, accentuant l'érosion du littoral en hiver.

De récentes études de cas ont permis de réaliser une première évaluation des impacts potentiels du changement climatique à l'échelle locale et régionale. Par exemple, à Charlottetown, où le niveau relatif de la mer s'est élevé d'environ 32 centimètres depuis 1911, il est permis de penser qu'une élévation rapide du niveau de la mer sous l'effet du changement climatique serait susceptible de créer de graves problèmes pour l'infrastructure urbaine.[19] L'action combinée de l'élévation des niveaux d'eau et d'une intensification des ondes de tempête pourrait être lourde de conséquences sur le plan économique (*voir* l'encadré 1). Le long de la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard, les effets conjugués de l'élévation du niveau marin, de l'amincissement de la couverture glacielle et de l'intensification de l'énergie des vagues accentueraient considérablement l'érosion des côtes. Une vitesse d'érosion multipliée par deux ferait perdre 10 p. 100 de la valeur des propriétés de la région étudiée en 20 ans, et près de 50 p. 100 en 100 ans.[19] Un phénomène de cette ampleur aurait également des

ENCADRÉ 1 : Les coûts d'une élévation du niveau de la mer à Charlottetown, à l'Île-du-Prince-Édouard[19]

À Charlottetown, de nombreuses propriétés commerciales et résidentielles sont situées dans des zones qui sont vulnérables aux inondations provoquées par des ondes de tempête. Selon les estimations des chercheurs, une augmentation des inondations causées par des ondes de tempête, conformément aux projections du niveau de la mer pour les 100 prochaines années, pourrait entraîner des dommages de l'ordre de 172 à 202 millions de dollars aux propriétés. Le secteur du tourisme ne serait pas épargné par les impacts, puisqu'entre 30 et 49 biens du patrimoine seraient menacés par un accroissement des risques de dommages causés par des inondations. L'infrastructure urbaine (soit les routes, les conduites d'eau et les réseaux d'égout) serait également touchée.

FIGURE 3 : Inondations prévues dans la ville actuelle de Truro, en Nouvelle-Écosse, du fait d'une élévation des niveaux d'eau provoquée par une onde de tempête comparable au coup de vent de Saxby de 1869[62]



Simulation : Gracieuseté de Ressources naturelles Canada et Pêches et Océans Canada.

répercussions sur les marais d'eau salée et sur les dunes côtières, deux atouts importants de l'industrie touristique.[119]

La partie supérieure de la baie de Fundy est une autre région sensible, où le changement climatique pourrait entraîner des inondations et des bris de digues. La figure 3 montre l'étendue des inondations potentielles dans la ville actuelle de Truro, en Nouvelle-Écosse, si elle devait connaître une onde de tempête comparable à celle qui a provoqué le coup de vent de Saxby en 1869 (où le niveau d'eau a atteint des sommets historiques dans la partie supérieure de la baie de Fundy).[20] L'étendue des inondations potentielles dans cette zone est affectée par la hausse de 44 centimètres du niveau de la mer qu'on a enregistrée depuis. Elle augmenterait encore dans le contexte d'une élévation rapide du niveau de la mer. La dégradation des marais salés le long des littoraux sous l'action du changement climatique est également une préoccupation importante pour cette région (*voir* l'encadré 2).

En outre, le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer peuvent contribuer à exacerber d'autres dangers qui menacent les zones côtières. Par exemple, de nombreuses collectivités de Terre-Neuve-et-Labrador se sont établies au pied de pentes abruptes, où il existe un risque de dommages associés à des glissements de terrain et à des avalanches.[122] Ces phénomènes étant souvent déclenchés par des extrêmes climatiques, leur fréquence risque d'augmenter avec le changement climatique.

Littoral de l'Arctique

Certaines parties de la côte de la mer de Beaufort (…) connaissent actuellement un recul rapide de la côte, accentué par la fonte de glace souterraine.[117]

Sur le littoral de l'Arctique canadien, les processus biophysiques et les activités socio-économiques subissent fortement l'influence des glaces de mer, qui recouvrent actuellement la majeure partie des zones côtières, interinsulaires et marines pendant 8 à 12 mois de l'année. Or, depuis 30 à 40 ans, l'étendue des glaces de mer saisonnières diminue nettement, comme en témoignent les images satellitaires (p. ex., référence 23; *voir* le chapitre intitulé « Les pêches »). Divers scénarios des changements de climat futurs laissent entrevoir que cette tendance se maintiendra; certaines études vont même jusqu'à prévoir que la couverture glacielle sera très limitée en été vers la fin du présent siècle.[124]

Dans la région côtière du Nord, le changement climatique aura des impacts directs dont le plus important sera la modification du régime glaciel, avec des conséquences possibles pour l'étendue du littoral de l'Arctique. Un amincissement de la couverture glacielle, un élargissement de la zone d'eau libre et un allongement de la saison sans glace influeraient sur le mode de vie des populations nordiques, notamment leurs déplacements, leur

ENCADRÉ 2 : Le devenir des marais salés dans les provinces de l'Atlantique[21]

Les marais d'eau salée intertidaux dans les provinces de l'Atlantique sont des écosystèmes diversifiés et très productifs. Leur altitude, qui varie à l'intérieur d'un intervalle étroit, est réputée maintenue en équilibre avec les variations du niveau de la mer. Toutefois, une hausse rapide du niveau de la mer sous l'effet du changement climatique pourrait compromettre cet équilibre, et l'augmentation de l'amplitude des inondations par la marée pourrait entraîner la disparition des marais ou les transformer en d'autres types de végétation.

Dans le cadre d'un projet de recherche examinant la vulnérabilité des marais salés dans la région de l'Atlantique, des chercheurs ont constaté que les marais salés sont généralement résilients à la vitesse actuelle des variations du niveau de la mer. Cependant, ils sont également arrivés à la conclusion qu'une accélération de l'élévation du niveau marin sous l'effet du changement climatique pourrait submerger certains marais. Les marais à l'étude se sont également avérés sensibles à l'apport en sédiments, aux changements hydrologiques d'origine anthropique et à la modification des modes de gestion.

Photo : Gracieuseté de Gail Chmura.

Carrottage des marais salés.

sécurité personnelle, l'accès aux collectivités et aux terrains de chasse et bien d'autres activités traditionnelles. Une diminution de l'étendue des glaces saisonnières pourrait également ouvrir à la navigation maritime de grandes régions de l'archipel Arctique, dont le passage du Nord-Ouest (*voir* le chapitre intitulé « Les transports »). Cette situation peut certes présenter de nouvelles occasions de développement économique, mais on doit également se préoccuper de ses impacts négatifs sur les écosystèmes marins de l'Arctique[25] et les modes de vie traditionnels, ainsi que des problèmes qu'elle pourrait poser sur le plan de la souveraineté et celui de la sécurité.[26, 27]

Le rythme des changements littoraux dans l'Arctique serait déterminé par les variations du régime glaciel et du niveau relatif de la mer sous l'effet du réchauffement planétaire. Des régions actuellement protégées de l'action des vagues par les glaces de mer persistantes seraient plus sérieusement touchées que d'autres qui subissent actuellement l'action saisonnière des vagues. De plus, les impacts d'une activité accrue des vagues seraient amplifiés dans des régions comme la côte de la mer de Beaufort, y compris le delta du Mackenzie et la péninsule de Tuktoyaktuk, dont le terrain est constitué de sédiments mal consolidés, souvent avec des volumes importants de glace de sol massive, et qui sont actuellement en submergence (*voir* l'encadré 3). Le long des versants dans les zones côtières terrestres, une augmentation de la température du sol et la dégradation du pergélisol pourraient diminuer la stabilité des pentes et accroître la fréquence des glissements de terrain,[28] ce qui constituerait une menace pour les collectivités et les infrastructures industrielles.

Des études de cas portant sur les collectivités de Tuktoyaktuk[30, 31, 32] et de Sachs Harbour,[33] toutes deux situées sur des côtes qui présentent une sensibilité très élevée, nous renseignent sur des changements qui ont cours actuellement et qui seraient accentués par de futurs changements de climat. Dans certaines parties de Tuktoyaktuk, le recul du littoral a atteint plus 100 mètres entre 1935 et 1971. L'érosion a entraîné la destruction ou rendu nécessaire la relocalisation de plusieurs bâtiments dans les collectivités touchées. Cependant, des mesures de protection prises en 1971 ont permis de stabiliser le littoral à la position qu'il occupait approximativement en 1986, mais elles exigent des travaux d'entretien considérables. Les chercheurs ont noté que, même si la collectivité a stoppé l'érosion, une brèche se formera probablement à l'extrémité sud de la péninsule d'ici 50 à 100 ans.[30] Ils ont en outre constaté que l'île qui protège actuellement l'embouchure du port subira vraisemblablement une

érosion pendant la même période.[32] Selon les observations locales, l'érosion des côtes et la dégradation du pergélisol constituent également des problèmes à Sachs Harbour, sur l'île Banks. Les récentes variations observées dans l'étendue et la prévisibilité de la couverture glacielle sont considérées par les résidants de la collectivité comme de nouvelles menaces à leurs modes de vie traditionnels.[33]

ENCADRÉ 3 : Dangers associés à une élévation du niveau de la mer sur les côtes canadiennes de la mer de Beaufort[29]

Dans le cadre de cette étude, on a entrepris une analyse régionale de la sensibilité du littoral canadien de la mer de Beaufort à une élévation du niveau de la mer et au réchauffement du climat, en s'appuyant sur des données historiques, afin d'examiner l'influence des conditions météorologiques, de l'étendue des glaces et des niveaux d'eau sur l'érosion. Les résultats indiquent une forte variabilité à l'intérieur de la région, surtout en ce qui concerne les tempêtes et les niveaux d'eau.

Dans les régions très sensibles, marquées par une forte érosion passée et présente, une base de données SIG (système d'information géographique) a été utilisée pour créer un indice de risque d'érosion. Un modèle d'onde de tempête a aussi été mis au point pour aider à évaluer les risques d'inondations potentielles dans de futures conditions.

Photo : Gracieuseté de Ressources naturelles Canada.

Côte de la mer de Beaufort.

Côte du Pacifique

À l'exception de la côte extérieure de l'île de Vancouver, le niveau relatif de la mer continue de monter le long de la majeure partie du littoral de la Colombie-Britannique depuis 95 ans.[34] Cependant, la vitesse de cette élévation a généralement été lente, en raison d'un soulèvement tectonique qui a eu un effet largement compensateur dans la plupart des régions.[35] Ainsi, lorsqu'on examine ce phénomène en tenant compte des caractéristiques de la côte du Pacifique, qui est escarpée et rocheuse, on en conclut que cette région est dans l'ensemble peu sensible à une élévation du niveau de la mer. Néanmoins, certains secteurs du Pacifique, qui sont petits mais non négligeables, sont jugés très sensibles.[10] Ces secteurs comprennent des portions des îles de la Reine-Charlotte,[10] le delta du Fraser et les falaises de sable non lithifiées de Vancouver,[10] ainsi que des portions de Victoria.[36] En tête des préoccupations figurent le bris des digues, les inondations, l'érosion et les risques qui en découleraient pour les écosystèmes côtiers, l'infrastructure[34, 36, 37] et les sites archéologiques.[17]

Le delta du Fraser, dont dépend une grande population en croissance rapide, est l'une des régions les plus sensibles de la côte du Pacifique. Des parties du delta se trouvent déjà sous le niveau de la mer, et des systèmes de digues ont été mis en place afin de protéger les terres basses contre les inondations.[37] De plus, on observe une hausse constante du niveau relatif de la mer dans cette région, ce qui augmente par le fait même les risques d'érosion, l'instabilité du littoral et les risques d'inondation, en particulier dans les milieux humides. Ainsi, une élévation du niveau de la mer induite par le changement climatique multiplierait ces risques.[9] L'encadré 4 décrit certains impacts potentiels dans la région du delta, évalués dans le cadre d'une vaste étude du bassin de Géorgie. De plus, le delta du Fraser est une région qui présente un risque relativement élevé d'activité sismique, et les impacts potentiels d'un tremblement de terre sur la stabilité du delta pourraient être aggravés par une élévation du niveau de la mer.[38]

Le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer exacerberaient également d'autres dangers qui menacent la côte. En effet, un niveau moyen de la mer plus élevé pourrait accroître les dommages potentiels causés par les tsunamis (vagues océaniques provoquées par des tremblements de terre sous-marins). Qui plus est, la côte extérieure et les inlets de l'île de Vancouver sont très vulnérables à ce type de danger.[39] Un autre scénario préoccupant est celui

ENCADRÉ 4 : Impacts d'une élévation du niveau de la mer sur le delta du Fraser[37]

Les impacts potentiels du changement climatique dans le delta du Fraser, qui est situé dans le bassin de Géorgie, en Colombie-Britannique, ont été examinés dans le cadre d'une vaste étude régionale sur la durabilité. Cette étude a défini les zones situées à moins d'un mètre au-dessus du niveau actuel de la mer comme des zones sensibles à une élévation du niveau marin. Elle conclut qu'une hausse d'un mètre du niveau marin menacerait les écosystèmes naturels, pourrait inonder plus de 4 600 hectares de terres agricoles, exposerait l'agriculture et l'approvisionnement en eau souterraine à un problème d'intrusion d'eau salée, et constituerait un risque pour plus de 15 000 hectares en milieu urbain, dans des zones industrielles et résidentielles. Toutefois, des mesures d'adaptation appropriées pourraient réduire la vulnérabilité de cette région.

où l'effet conjugué de la marée haute, du phénomène El Niño et des tempêtes contribuerait à faire monter excessivement le niveau de la mer pendant une brève période.[36] Par exemple, lors du plus récent épisode de l'oscillation australe El Niño, on a observé une élévation de 40 centimètres du niveau de la mer et un recul de la côte qui a atteint 12 mètres à certains endroits.[40]

Impacts sur les rives des Grands Lacs et les berges du Saint-Laurent

Environ 40 millions de personnes vivent dans cette région (…) ces mers d'eau douce ont contribué de façon significative au peuplement historique du bassin et à leur prospérité économique, à la culture (…)[41]

Les précipitations, la température et l'évaporation sont les principales variables climatiques qui influent sur les niveaux d'eau dans les Grands Lacs.[42] La fluctuation des niveaux d'eau est une caractéristique naturelle de ces lacs. Par exemple, pendant la période d'enregistrement (de 1918 à 1998), les niveaux des lacs ont varié de 1,19 mètre dans le lac Supérieur et de 2,02 mètres dans le lac Ontario.[43] Des changements climatiques de l'ampleur de ceux que prévoit le GIEC entraîneraient une réduction globale des apports d'eau nets et une baisse à long terme du niveau des lacs, à tel point que les niveaux d'eau moyens pourraient diminuer à des valeurs records pendant la deuxième moitié du siècle (*voir* les références 14, 43, 44; *voir également* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »). Le réchauffement climatique réduirait également la durée de la couverture glacielle, qui fournit présentement une protection saisonnière contre les violentes tempêtes hivernales sur une bonne partie des rives.

Des variations de niveau d'eau de l'ampleur de celles que prévoient les récentes études (de 30 à 100 centimètres d'ici 2050; référence 8) pourraient affecter la zone côtière des Grands Lacs en limitant l'accès des bateaux de plaisance et des bateaux commerciaux aux quais, marinas et chenaux communicants (*voir* la figure 4). Elles toucheraient également l'infrastructure portuaire au service de l'industrie de la navigation commerciale des Grands Lacs, et les bas niveaux d'eau pourraient forcer les navires à diminuer leur capacité de charge de manière à pouvoir continuer d'utiliser les ports et les voies de navigation actuels (*voir* le chapitre intitulé « Les transports »).

Une baisse des niveaux d'eau dans les lacs aurait également une incidence sur les plages, qui se découvriraient dans une proportion variant selon la profondeur de l'eau, la composition et l'inclinaison du lit des lacs et la baisse du niveau d'eau,[45] de sorte que les grandes plages pourraient accroître leur

FIGURE 4 : Impacts des faibles niveaux d'eau observés récemment dans les Grands Lacs sur les rives du lac Huron à Oliphant, en Ontario

Photo : Gracieuseté de Ryan Schwartz

aire récréative. Toutefois, les chercheurs ont constaté que les niveaux d'eau projetés dans le contexte de divers scénarios de changement climatique se situent généralement bien en deçà de ceux que les plaisanciers préféreraient pour la pratique de leurs activités.[46] De plus, la vue d'estrans vaseux pourrait enlaidir le paysage côtier, sans parler du risque de se trouver en présence de sédiments toxiques du fait de l'exposition du lit des lacs.[43]

Les niveaux d'eau élevés et les inondations provoquées par des tempêtes sont des préoccupations constantes pour les activités commerciales, résidentielles, agricoles et industrielles de la zone littorale des Grands Lacs.[47] La baisse des niveaux d'eau pourrait certes diminuer la fréquence et la gravité des inondations, mais, d'un autre côté, la tentation d'étendre la zone aménagée vers la nouvelle ligne de rivage pourrait être forte.[11]

D'autres infrastructures le long du littoral pourraient être touchées par une baisse des niveaux d'eau résultant des futurs changements climatiques. Par exemple, les ouvrages de prise d'eau municipaux et industriels ont été conçus en fonction de l'échelle traditionnelle des variations du niveau des lacs.[48] Ces ouvrages sont situés dans des eaux relativement peu profondes, comme celles du lac Sainte-Claire, et il est possible que la faible profondeur de l'eau ainsi que la croissance et la prolifération des algues multiplient les problèmes d'approvisionnement en eau de même que les cas d'altération de l'odeur et du goût de l'eau.[11]

Adaptation

« En gestion côtière, les options d'adaptation produisent des résultats optimaux quand on les intègre à des politiques dans d'autres domaines, comme la lutte contre les désastres naturels et l'aménagement du territoire. »[49]

Les impacts physiques du changement climatique sur les zones côtières varieront d'un endroit à l'autre et dépendront d'un éventail de facteurs biophysiques et socio-économiques, dont la réponse humaine.[50] Les mesures d'adaptation joueront un rôle pivot dans la réduction de l'ampleur et de l'étendue des impacts potentiels et, par le fait même, de la vulnérabilité des zones côtières au changement climatique. Dans de nombreux cas, les techniques et les technologies utilisées jusqu'à maintenant pour atténuer les impacts des variations des niveaux d'eau pourraient s'avérer des moyens efficaces pour s'adapter aux futurs changements climatiques.

Jusqu'à maintenant, on s'est peu attardé à comprendre les motivations sous-jacentes à l'adaptation, et les obstacles qui peuvent se dresser sur la voie de la réussite dans ce domaine. La littérature sur l'adaptation s'est plutôt intéressée aux méthodes utilisées pour faire face aux variations des niveaux d'eau. Ces dernières années, trois tendances ont été observées dans l'adaptation en milieu côtier et l'utilisation des technologies connexes :

1) accroissement des mesures de protection douces (p. ex., alimentation des plages et restauration des milieux humides), retrait (ou évitement) et accommodement;

2) recours à des technologies, comme les systèmes d'information géographique (SIG), pour gérer l'information;

3) sensibilisation à la nécessité d'adopter des mesures d'adaptation appropriées aux conditions locales.[51]

Stratégies pour faire face à une élévation du niveau de la mer

De nombreux spécialistes croient qu'à l'échelle planétaire, les conséquences d'une élévation du niveau de la mer pourraient être désastreuses si aucune mesure d'adaptation n'était mise en place.[49] Dans les pages qui suivent, nous examinons les trois stratégies de base axées sur la protection, l'accommodement et le retrait,[51] et nous considérons les diverses options technologiques disponibles pour chacune.

Protection

Dans plusieurs régions du monde, l'approche traditionnellement utilisée pour se protéger contre une élévation du niveau de la mer consiste à construire des murs et des épis. Ces ouvrages visent généralement à assurer la poursuite des activités courantes malgré la hausse des niveaux d'eau.[51] Il peut s'agir de grands projets d'intérêt public ou de mesures prises individuellement par des propriétaires riverains. Les mesures de protection traditionnelles sont généralement coûteuses et peuvent avoir une efficacité limitée à long terme dans des endroits très vulnérables.[19]

C'est pourquoi, depuis quelques années, on admet de plus en plus les avantages des mesures de protection « douces », dont l'alimentation des plages ainsi que la restauration et la création de milieux humides.[51] Ces moyens, qui peuvent être mis en œuvre à mesure que s'élève le niveau de la mer, sont plus flexibles, par exemple, que les ouvrages longitudinaux, dont l'expansion peut nécessiter le retrait ou l'ajout de structures. Il convient de noter cependant que, pour passer des mesures de protection douces aux mesures de protection dures, il faut avoir une connaissance et une compréhension des processus physiques qui interviennent le long des côtes dans une région donnée.[3] Les mesures de protection douces peuvent accroître la résilience naturelle des zones côtières et sont généralement moins coûteuses que les mesures de protection dures, qui peuvent avoir des effets indésirables sur les régimes d'érosion et de sédimentation si elles sont mal conçues.[51]

Accommodement

L'accommodement consiste à poursuivre l'occupation des terres côtières tout en apportant des rajustements aux activités humaines et aux infrastructures afin d'atténuer les impacts de l'élévation du niveau de la mer.[3] Les stratégies d'accommodement peuvent inclure la réingénierie des structures existantes, l'adoption d'une réglementation visant à encourager l'utilisation et la mise en valeur judicieuses des terres (p. ex., par l'emploi de servitudes continues), et l'accroissement de la résilience naturelle en restaurant les dunes et les terres humides en milieu côtier. La construction de bâtiments sur pilotis, le passage d'une agriculture traditionnelle à des cultures résistantes au sel,[3] le contrôle ou l'interdiction du prélèvement des sédiments de plage[19] et la mise en place de systèmes d'alerte en cas d'élévation extrême du niveau de la mer, d'inondation ou d'érosion sont des exemples de stratégies d'accommodement.[36]

Retrait

Le retrait (ou évitement) consiste à éviter les risques de manière à éliminer les impacts directs.[3] Au lieu de tenter de protéger les terres contre l'empiétement de la mer, on renonce à toute forme d'aménagement et on choisit plutôt d'abandonner les terres menacées lorsque les conditions deviennent intolérables. On peut, par exemple, avoir recours à une réglementation dissuasive pour réduire les pertes découlant de l'érosion.[19] Dans certains cas, le rétablissement peut être une solution de rechange rentable aux ouvrages de protection côtiers.[19]

Faciliter l'adaptation

Les chercheurs recommandent d'intégrer l'adaptation au changement climatique à un cadre général de gestion de la zone côtière tel que préconisé dans la *Loi sur les océans du Canada*, ce qui permettrait de mieux gérer le processus d'adaptation dans toute sa complexité et favoriserait la collaboration entre les chercheurs, les décideurs et les intervenants.[52]

Il est primordial que les intervenants participent au processus dès le début et qu'ils prennent une part active dans les discussions sur les mesures d'adaptation potentielles.[53]

Afin d'évaluer la vulnérabilité d'une région ou d'une collectivité, il est nécessaire d'examiner à la fois l'ampleur des impacts potentiels et notre capacité d'adaptation à ces impacts. Un facteur important à considérer dans ce genre d'analyse est la vitesse à laquelle on prévoit que les changements vont survenir. Par exemple, une élévation progressive du niveau de la mer peut nous donner le temps d'adapter la plupart des infrastructures côtières, à la faveur du programme d'entretien régulier; les stratégies d'accommodement et de retrait seraient, dans ce cas, des options viables. En revanche, un rythme de changement plus rapide pourrait nécessiter des mesures de protection ou de remplacement plus coûteuses que ne le justifierait normalement la durée de vie utile des installations. Les évaluations comportent souvent des études de cas précises dans la région d'intérêt (*voir* l'encadré 5). Dans les prochaines sections, nous donnons des exemples précis de l'adaptation au changement climatique dans certaines régions. Dans la plupart des cas, nous offrons des pistes d'action sans toutefois entrer dans le détail des processus d'adaptation ni examiner de près la viabilité des options.

Île-du-Prince-Édouard

Parmi les stratégies d'adaptation possibles à l'Île-du-Prince-Édouard, telles qu'elles sont recensées et examinées dans la littérature, figurent la reconnaissance et la surveillance des dangers (p. ex., cartographie des zones inondables), la gestion du retrait ou de l'évitement (p. ex., restrictions à l'aménagement des zones sensibles), l'accommodement et une meilleure information du public.[19] Les mesures d'adaptation les plus judicieuses dépendront des conditions propres au site considéré. Par exemple, le retrait n'est probablement pas une solution viable dans les milieux urbains comme Charlottetown. Dans ces régions, il faudrait plutôt songer à des stratégies regroupant des mesures d'adaptation dures et douces, afin de protéger une infrastructure côtière précieuse.[19]

ENCADRÉ 5 : Évaluation de la vulnérabilité des collectivités côtières[54]

La première étape cruciale de cette étude réalisée dans le sud de la baie Conception, à Terre-Neuve, a été de consulter les résidants des collectivités concernées, en vue de déterminer les impacts qu'ils redoutaient. Parmi les préoccupations figuraient l'érosion des côtes, les dommages à l'infrastructure et les implications pour la gestion et le développement des municipalités. Les chercheurs ont ensuite utilisé des données historiques pour évaluer les impacts du climat passé et déterminer les parties de la côte les plus sensibles aux inondations et à l'érosion. Enfin, on a recommandé certaines options (interdire l'aménagement des zones vulnérables connues, établir des limites de retrait) à titre de mesures préventives pour limiter les impacts.

Photo : Gracieuseté de Norm Catto.

Topsail, sud de la baie Conception (Terre-Neuve).

La côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard, avec son système complexe de dunes de sable, est aussi un lieu d'intérêt touristique fort important qui est menacé par l'activité des vagues induite par des tempêtes. Les dunes forment une barrière naturelle qui protège le littoral contre les processus côtiers et dont la disparition risquerait d'accélérer l'érosion dans les zones sensibles.[19] Parmi les stratégies d'adaptation envisageables pour la côte nord figurent des mesures d'accommodement à l'élévation du niveau de la mer, en favorisant la résilience naturelle du milieu par la restauration des dunes, et des mesures de protection douces telles que l'alimentation des plages et le stockage du sable.[19] Somme toute, un éventail de stratégies d'adaptation serait nécessaire pour l'Île-du-Prince-Édouard, et on aurait plus de chances d'obtenir des résultats fructueux en considérant plusieurs options, à diverses échelles, dans le cadre de travaux ou de discussions auxquels participeraient les intervenants.[19]

Delta du Fraser

Des structures sont déjà en place dans le delta du Fraser pour protéger les terres contre l'action de la mer. Cependant, une augmentation de la fréquence des inondations extrêmes ou des phénomènes liés aux ondes de tempête sous l'effet du changement climatique multiplierait les risques de bris de digues et de dommages.[45] Dans les conclusions de son étude, Yin[37] recommande plusieurs options d'adaptation pour les zones côtières du delta du Fraser, basées sur les impacts potentiels du changement climatique dans cette région :

1) prévenir tout aménagement des zones sensibles;

2) s'assurer que tout nouveau développement ne se fasse pas au détriment du littoral;

3) procéder au rachat public des terres et infrastructures sensibles;

4) protéger les investissements actuels en maintenant, en élargissant et en modernisant les digues existantes afin d'éviter des dommages à l'infrastructure côtière et aux activités humaines.

Grands Lacs

Certains propriétaires riverains subiraient les effets d'une baisse des niveaux d'eau dans les Grands Lacs si la situation devait se produire mais, dans la plupart des cas, ils réussiraient à s'adapter en suivant les lacs dans leur recul (p. ex., en allongeant les quais; références 11 et 45). Les variations des niveaux d'eau auraient également des répercussions sur les structures de protection des berges, qui ont été conçues en fonction des écarts actuels des niveaux des lacs. Par conséquent, la conception et la mise en place de structures flexibles, qui pourraient être modifiées selon une échelle de niveaux d'eau, constituent une stratégie appropriée d'adaptation proactive.[45, 55] Des décisions devront également être prises en ce qui concerne l'utilisation et l'aménagement des berges. Par exemple, il est possible que l'on doive adapter les politiques et les plans actuels de gestion du littoral, et que l'on ait recours à de nouvelles politiques pour limiter l'aménagement des zones sensibles du littoral et ainsi réduire les impacts potentiels des menaces qui pèsent sur les rives.[11, 56]

Le dragage est une option d'adaptation couramment recommandée pour contrer les effets de la baisse des niveaux d'eau dans les Grands Lacs. En 2000, Pêches et Océans Canada a lancé le Programme d'intervention en cas d'urgence – Niveau d'eau des Grands Lacs, dans le cadre duquel il a fourni une aide de l'ordre de 15 millions de dollars pour le dragage de marinas durement touchées par la baisse des niveaux d'eau.[57] Cependant, d'un point de vue économique et environnemental, le dragage n'est pas toujours une option faisable. Par exemple, le dragage du canal Welland, qui est situé dans un bassin rocheux, impliquerait la réalisation d'un projet de forage et de dynamitage qui s'échelonnerait sur de nombreuses années.[58] Selon les conclusions d'une étude sur le dragage des ports dans une portion des Grands Lacs, les coûts d'une telle opération à Goderich, en Ontario, pourraient atteindre 6,84 millions de dollars dans le cas d'une des prévisions des niveaux d'eau.[59] De plus, dans les régions où les sédiments sont contaminés, l'élimination des résidus pourrait entraîner des coûts élevés et le dragage à grande échelle présenterait des dangers pour la santé publique et l'environnement, en plus de nuire aux utilisateurs et aux activités pratiquées dans les régions riveraines.[43]

Il a également été suggéré, à titre d'option d'adaptation potentielle, d'apporter des modifications à la réglementation des Grands Lacs. On examine présentement les règlements afin de déterminer les avantages et les impacts du plan qui régit actuellement le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent, et les changements qui s'imposeraient pour répondre aux besoins actuels et futurs, y compris ceux prévus dans les scénarios du changement climatique.[60] Pour ce qui est d'étendre la réglementation aux cinq Grands Lacs, la recherche indique que cette option n'est pas faisable sur les plans économique et environnemental à l'heure actuelle.[61]

Lacunes sur le plan des connaissances et besoins en matière de recherche

Les études sur les impacts des variations des niveaux d'eau (soit l'élévation du niveau de la mer et la baisse des niveaux d'eau dans les Grands Lacs) dominent toujours la recherche sur le changement climatique en milieu côtier. Ces travaux sont certes indispensables, mais il importe également de trouver des façons de mieux contrer les impacts des autres changements d'origine climatique, notamment les processus régissant les tempêtes et la dynamique des glaces.

Il est primordial de réaliser des études intégrées qui examinent à la fois les composantes physiques, sociales et économiques des zones côtières. Ce n'est qu'en allant au-delà de l'approche biophysique traditionnelle que nous pourrons élaborer des évaluations intégrées et exhaustives de la vulnérabilité des zones côtières du Canada au changement climatique.

Parmi les besoins recensés dans la littérature récente citée dans le présent rapport figurent les suivants :

Impacts

1) Compréhension et prévisibilité accrues de la réponse du littoral au changement climatique et aux variations des niveaux d'eau, notamment dans le cas des littoraux localement très vulnérables.

2) Examen de la question de la disponibilité et de l'accessibilité des données, notamment les données sur le climat, les niveaux d'eau et les courants, de même que la capacité de surveillance et de collecte de données.

3) Meilleure compréhension de l'influence du changement climatique sur la fréquence et l'intensité des tempêtes et la couverture glacielle, et de ses conséquences pour les zones côtières.

4) Études sur l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers du fait d'une élévation du niveau de la mer, notamment dans les régions qui dépendent des ressources en eau souterraine.

Adaptation

1) Évaluations intégrées de la vulnérabilité des zones côtières, notamment la capacité des politiques actuelles de gestion des zones côtières à contrer les impacts de la variabilité et du changement climatiques.

2) Études sur les processus d'adaptation humains et la capacité des intervenants et des institutions politiques à réagir aux changements.

3) Recherche en vue de déterminer les avantages que l'on pourrait tirer des occasions offertes par le changement climatique.

4) Études conduisant à des estimations réalistes des coûts des différentes options d'adaptation en milieu côtier, selon différents taux de variation des niveaux d'eau.

5) Connaissance accrue de l'influence des activités humaines et des politiques sur la vulnérabilité au changement climatique, et des obstacles à l'adaptation.

Conclusion

D'un point de vue économique, environnemental et social, les zones côtières du Canada revêtent une importance capitale. Leur santé et leur durabilité ont une incidence sur plusieurs industries – tourisme et loisirs, pêches, transports et commerce – et sur les collectivités. L'interface terre-eau rend les zones côtières sensibles aux variations des niveaux d'eau, au régime des vagues, aux tempêtes, à la couverture glacielle et à d'autres facteurs de nature climatique. Une modification de ces paramètres accélérerait les changements littoraux et poserait une foule de problèmes pour la durabilité des zones côtières. Les impacts varieront d'une région à l'autre, et il est d'ores et déjà admis que certains secteurs de la côte Atlantique, la région du delta du Fraser, en Colombie-Britannique, et la côte de la mer de Beaufort sont très sensibles à une élévation du niveau de la mer. Dans les régions côtières du Nord, le changement climatique aura des impacts directs dont le plus important résidera sans doute dans les variations du régime glaciel, tandis que les variations des niveaux d'eau seront la principale préoccupation le long des côtes de l'Atlantique et du Pacifique et sur les rives des Grands Lacs.

Une meilleure compréhension des différences régionales contribuera à mieux cibler les stratégies d'adaptation pour réduire la vulnérabilité des zones côtières. Les stratégies de protection, d'accommodement et de retrait nous donnent un solide cadre d'action pour nous adapter aux impacts du changement climatique, notamment l'augmentation du rythme d'élévation du niveau de la mer. Des études intégrées des impacts du changement climatique à une échelle locale, auxquelles participeraient des chercheurs en sciences physiques et sociales et d'autres intervenants, sont nécessaires pour mieux établir la vulnérabilité des zones côtières du Canada et déterminer les options d'adaptation les plus appropriées. L'intégration de ces facteurs au processus de planification à long terme réduira les impacts nets du changement climatique ainsi que les coûts d'adaptation.

Références

Les références en caractères gras désignent des rapports portant sur des travaux financés dans le cadre du Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada.

(1) Pêches et Océans Canada. *Info-Éclair*, 2002. Disponible en ligne à http://www.dfo-mpo.gc.ca/communicfacts-info/facts-info_f.htm (accès en septembre 2002).

(2) Ressources naturelles Canada. *Faits sur le Canada*, 2002. Disponible en ligne à http://atlas.gc.ca/site/francais/facts/coastline.html (accès en octobre 2002).

(3) McLean, R.F., A. Tsyban, V. Burkett, J.O. Codignotto, D.L. Forbes, N. Mimura, R.J. Beamish et V. Ittekkot. « Coastal zones and marine ecosystems », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en octobre 2002).

(4) Coastal and Ocean Resources Inc. *Proceedings of a workshop on coastal impacts and adaptation related to climate change: the C-CIARN coastal node*, 2001. Disponible en ligne à http://iss.gsc.nrcan.gc.ca/cciarn/Coastal_Zone_report.htm (accès en octobre 2002).

(5) Lewis, C.F.M., D.L. Forbes, B.J. Todd, E. Nielsen, L.H. Thorleifson, P.J. Henderson, I. McMartin, T.W. Anderson, R.N. Betcher, W.M. Buhay, S.M. Burbidge, C.J. Schröder-Adams, J.W. King, K. Moran, C. Gibson, C.A. Jarrett, H.J. Kling, W.L. Lockhart, W.M. Last, G.L.D. Matile, J. Risberg, C.G. Rodrigues, A.M. Telka et R.E. Vance. « 2001 Uplift-driven expansion delayed by middle Holocene desiccation in Lake Winnipeg, Manitoba, Canada », *Geology*, vol. 29, nº 8, pp. 743-746.

(6) Maxwell, B. *Impact et adaptation à la variabilité et au changement du climat dans l'Arctique; tome II de l'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, Environnement Canada, 1997.

(7) Church, J.A., J.M. Gregory, P. Huybrechts, M. Kuhn, K. Lambeck, M.T. Nhuan, D. Qin et P.L. Woodworth. « Changes in sea level », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail I au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en octobre 2002).

(8) Mortsch, L.D., H. Hengeveld, M. Lister, B. Lofgren, F. Quinn, M. Slivitzky et L. Wenger. « Climate change impacts on the hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence system », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 25, nº 2, 2000a, pp. 153-179.

(9) Shaw, J., R.B. Taylor, D.L. Forbes, M.H. Ruz et S. Solomon. « Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise », Commission géologique du Canada, bulletin 505, 1998a, pp. 1-79.

(10) Shaw, J., R.B. Taylor, S. Solomon, H.A. Christian et D.L. Forbes. « Potential impacts of global sea-level rise on Canadian coasts », *Le Géographe canadien*, vol. 42, nº 4, 1998b, pp. 365-379.

(11) Moulton, R.J. et D.R. Cuthbert. « Cumulative impacts risk assessment of water removal or loss from the Great Lakes-St. Lawrence River system », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 25, nº 2, 2000, pp. 181-208.

(12) Forbes, D.L., J. Shaw et R.B. Taylor. « Impact et adaptation à la variabilité et au changement du climat à l'Atlantique », dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, J. Abraham, T. Canavan et R. Shaw (éd.), tome VI, Environnement Canada, 1997.

(13) Beckmann, L., M. Dunn et K. More. « Effects of climate change impacts on coastal systems in British Columbia and Yukon », dans *Impact et adaptation à la variabilité et au changement du climat en Colombie-Britanique et au Yukon*, E. Taylor et B. Taylor (éd.), *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, tome I, British Columbia Ministry of Environment, Land and Parks, 1997.

(14) Smith, J., B. Lavender, H. Auld, D. Broadhurst et T. Bullock. « Impact et adaptation à la variabilité et au changement du climat en Ontario », *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, tome IV, Environnement Canada, 1998.

(15) McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White. « Summary for Policy Makers », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en octobre 2002).

(16) Forbes, D.L. « Earth science and coastal management: natural hazards and climate change in the coastal zone », *GeoCanada 2000*, Calgary (Alberta), du 29 mai au 2 juin 2000. Disponible en ligne à http://cgrg.geog.uvic.ca/abstracts/ForbesEarthCoastal.html (accès en juillet 2002).

(17) Ressources naturelles Canada. *Sensibilités aux changements climatiques au Canada*, 2000. Publication du Processus national sur le changement climatique – impacts et adaptation.

(18) Robichaud, A. et Y. Begin. « The effects of storms and sea-level rise on a coastal forest margin in New Brunswick, eastern Canada », *Journal of Coastal Research*, vol. 13, nº 2, 1997, pp. 429-439.

(19) **McCulloch, M.M., D.L. Forbes et R.W. Shaw. *Coastal impacts of climate change and sea-level rise on Prince Edward Island*, Commission géologique du Canada, dossier public 4261, 2002, 62 pages et 11 documents à l'appui.**

(20) Shaw, J. *Contre vents et marées – le changement climatique dans le Canada atlantique*, Commission géologique du Canada, rapport divers 75, 2001. Disponible en ligne à http://adaptation.nrcan.gc.ca/posters/reg_fr.asp?Region=ac (accès en septembre 2002).

(21) **Chmura, G. *The fate of salt marshes in Atlantic Canada*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(22) Liverman, D., M. Batterson, D. Taylor et J. Ryan. « Geological hazards and disasters in Newfoundland and Labrador », *Revue canadienne de geotechnique*, vol. 38, n° 5, 2001, pp. 936-956.

(23) Vinnikov, K.Y., A. Robock, R.J. Stouffer, J.E. Walsh, C.L. Parkinson, D.J. Cavalieri, J.F.B. Mitchell, D. Garrett et V.F. Zakharov. « Global warming and northern hemisphere sea ice extent », *Science*, vol. 286, 1999, pp. 1934-1937.

(24) Kerr, R.A. « Will the Arctic Ocean lose all its ice? » *Science*, vol. 286, n° 5446, 1999, p. 1828.

(25) Burns, W.C.G. *From the harpoon to the heat: climate change and the International Whaling Commission in the 21st Century*, 2000. Rapport rédigé pour le Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security. Disponible en ligne à http://www.pacinst.org/IWCOP.pdf (accès en novembre 2001).

(26) Comité canadien des ressources arctiques. « On thinning ice », *Northern Perspectives*, vol. 27, n° 2, 2002, p. 1.

(27) Huebert, R. « Impact du changement climatique sur le passage du Nord-Ouest », *Revue canadienne de recherche sur les politiques*, vol. 2, n° 4, 2001, pp. 92-101.

(28) Aylsworth, J.M., A. Duk-Rodkin, T. Robertson et J.A. Traynor. « Landslides of the Mackenzie valley and adjacent mountainous and coastal regions », dans *The Physical Environment of the Mackenzie Valley, Northwest Territories: A Base Line for the Assessment of Environmental Change*, L.D. Dyke et G.R. Brooks (éd.), Commission géologique du Canada, bulletin 547, 2001, pp. 167-176.

(29) **Solomon, S. *Climate change and sea-level hazards on the Canadian Beaufort Sea coast*, 2001. Rapport de projet rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(30) Wolfe, S.A., S.R. Dallimore et S.M. Solomon. « Coastal permafrost investigation along a rapidly eroding shoreline, Tuktoyaktuk, NWT », dans *Permafrost: Seventh International Conference*, du 23 au 27 juin 1998, Yellowknife, Canada, procès-verbal n° 57, pp. 1125-1131.

(31) Couture, R., S. Robinson, M. Burgess et S. Solomon. *Climate change, permafrost, and community infrastructure: a compilation of background material from a pilot study of Tuktoyaktuk, Northwest Territories*, Commission géologique du Canada, dossier public 3867, 1 CD-ROM, 2002.

(32) Solomon, S.M. *Tuktoyaktuk erosion risk assessment, 2001*, 2002. Rapport rédigé pour le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest et EBA Engineering.

(33) Reidlinger, D. *Climate change and Arctic communities: impacts and adaptation in Sachs Harbour, Banks Island*, NWT, 2000. Rapport de projet rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.

(34) Fraser, J. et R. Smith. *Indicators of climate change for British Columbia, 2002*, 2002. Rapport rédigé par le British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection.

(35) Suffling, R. et D. Scott. « Assessment of climate change effects on Canada's National Park system », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 74, n° 2, 2002, pp. 117-139.

(36) **Crawford, W. et M. Horita. *Evaluation of risk of erosion and flooding in British Columbia*, 2001. Rapport de projet rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(37) **Yin, Y. *Designing an integrated approach for evaluating adaptation options to reduce climate change vulnerability in the Georgia Basin*, 2001. Rapport de projet rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(38) Barrie, J.V. « *Recent geological evolution and human impact: Fraser Delta, Canada* », *Geological Society, Special Publication*, vol. 175, 2000, pp. 281-292.

(39) Clague, J.J. *Tsunamis*, Commission géologique du Canada, bulletin 548, 2001, pp. 27-42.

(40) Barrie, J.V. et K.W. Conway. « Rapid sea-level change and coastal evolution on the Pacific margin of Canada », *Sedimentary Geology*, vol. 150, n°s 1-2, 2002, pp. 171-183.

(41) Commission mixte internationale. *Rapport final sur la protection des eaux des Grands Lacs : présenté aux gouvernements du Canada et des États-Unis d'Amérique*, 2000, 69 p.

(42) Mortsch, L.D. « Assessing the impact of climate change on the Great Lakes shoreline wetlands », *Climatic Change*, vol. 40, 1998, pp. 391-416.

(43) Mortsch, L.D., M. Lister, B. Lofgren, F. Quinn et L. Wenger. *Climate change impacts on hydrology, water resources management and the people of the Great Lakes–St. Lawrence system: a technical survey*, 2000b. Rapport préparé pour la International Joint Commission Reference on Consumption, Diversions and Removals of Great Lakes Water.

(44) Chao, P. « Great Lakes water resources: climate change impact analysis with transient GCM scenarios », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, n° 6, 1999, pp. 1499-1507.

(45) Wall, G. « Implications of global climate change for tourism and recreation in wetland areas », *Climatic Change*, vol. 40, 1998, pp. 371-389.

(46) Scott, D. *Ontario cottages and the Great Lakes Shore Hazard: past experiences and strategies for the future*, thèse de maîtrise, Université de Waterloo, Waterloo (Ontario), 1993.

(47) Gabriel, A.O., R.D. Kreutzwiser et C.J. Stewart. « Great Lakes flood thresholds and impacts », *Journal of Great Lakes Research*, vol. 23, n° 3, 1997, pp. 286-296.

(48) Lee, D.H., R. Moulton et B.A. Hibner. *Climate change impacts on western Lake Erie, Detroit River and Lake St. Clair water levels*, 1996. Rapport rédigé par Environnement Canada et le Great Lakes Environmental Research Laboratory.

(49) Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein et G. Yohe. « Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en octobre 2002).

(50) Neumann, J.E., G. Yohe, R. Nicholls et M. Manion. *Sea-level rise and global climate change: a review of impacts to U.S. coasts*, 2000. Rapport rédigé pour le Pew Center on Global Climate Change.

(51) Klein, R.J.T., R.J. Nicholls, S. Ragoonaden, M. Capobianco, J. Aston et E.N. Buckley. « Technological options for adaptation to climate change in coastal zones », *Journal of Coastal Research*, vol. 17, n° 3, 2001, pp. 531-543.

(52) Klein, R.J.T., R.J. Nicholls et N. Mimura. « Coastal adaptation to climate change: can the IPCC technical guidelines be applied? », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, nos 3-4, 1999, pp. 239-252.

(53) Anisimov, O., B. Fitzharris, J.O. Hagen, R. Jefferies, H. Marchant, F. Nelson, T. Prowse et D.G. Vaughan. « Polar regions (Arctic and Antarctic) », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en octobre 2002).

(54) **Catto, N., D. Liverman et D.L. Forbes. *Climate change impacts and adaptation in Newfoundland coastal communities: Conception Bay south*, 2002. Rapport de projet rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique.**

(55) de Loë, R.C. et R.D. Kreutzwiser. « Climate variability, climate change and water resource management in the Great Lakes », *Climatic Change*, vol. 45, 2000, pp. 163-179.

(56) Mortsch, L.D., S. Quon, L. Craig, B. Mills et B. Wrenn (éd.). *Adapting to climate change and variability in the Great Lakes–St. Lawrence Basin: Proceedings of a Binational Symposium*, Toronto (Ontario), du 13 au 15 mai 1997, 1998.

(57) Pêches et Océans Canada. *Dhaliwal accorde 15 M$ de fonds fédéraux pour des travaux de dragage d'urgence dans les Grands Lacs*, communiqué, 2000. Disponible en ligne à http://www.dfo-mpo.gc.ca/media newsrel/2000/hq53_e.htm (accès en mai 2001).

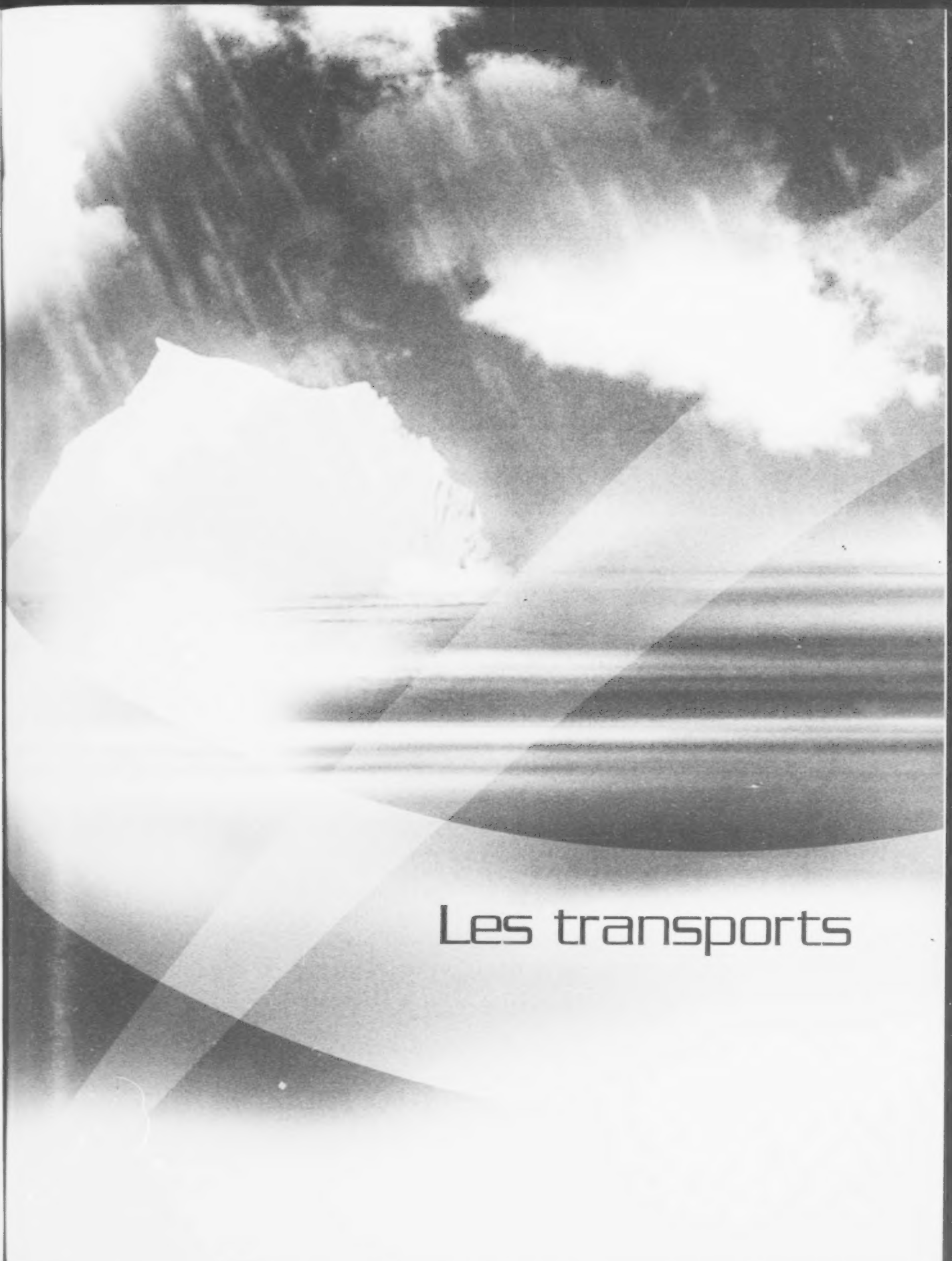
(58) Lindeberg, J.D. et G.M. Albercook. « Focus: climate change and Great Lakes shipping/boating », dans *Preparing for a Changing Climate: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, P.J. Sousounis et J.M. Bisanz (éd.), 2000. Rapport rédigé par le Great Lakes Regional Assessment Group.

(59) Schwartz, R.C. *A GIS approach to modelling potential climate change impacts on the Lake Huron shoreline*, thèse de maîtrise en études environnementales, Université de Waterloo, Waterloo (Ontario), 2001.

(60) Commission mixte internationale. *Revue de la régulation du lac Supérieur*, 2002. Disponible en ligne à http://www.ijc.org/ijcweb-f.html (accès en novembre 2002).

(61) Commission mixte internationale. *Methods of alleviating the adverse consequences of fluctuating water levels in the Great Lakes–St. Lawrence Basin*, 1993. Rapport rédigé par la Commission mixte internationale.

(62) O'Reilly, C., H. Varma et G. King. « The 3-D Coastline of the New Millennium: Managing Datums in N-Dimension Space », *Vertical Reference Systems*, International Association of Geodesy, IAG Symposia (124), du 20 au 23 février 2001, Cartagena, Colombie, Springer-Verlag Berlin, 2002, pp. 276-281.



Les transports

« Les transports sont essentiels à notre bien-être. Les Canadiens ont besoin d'un réseau de transport fiable, sécuritaire et durable afin de relier nos collectivités et de nous relier à nos partenaires commerciaux. »[1]

Les industries du transport génèrent environ 4 p. 100 du produit intérieur brut du Canada et emploient plus de 800 000 personnes.[2] Ces statistiques, cependant, sont loin de rendre compte de l'importance du transport au pays, étant donné que les véhicules particuliers représentent une grande partie des mouvements de passagers et de marchandises. Tous véhicules confondus, les Canadiens consacrent au transport 150 milliards de dollars par année, soit un dollar sur sept dollars de dépenses.[2] Dans l'ensemble, donc, on ne saurait surestimer l'importance du transport dans la vie des Canadiens.

Le tableau 1 indique l'ampleur des réseaux de transport routier, ferroviaire, aérien et maritime ainsi que l'usage qui en est fait au Canada.

On estime à près de 100 milliards de dollars la valeur du seul réseau routier.[5] Les modes de transport dominants ainsi que le rôle du transport dans l'économie varient d'une région à l'autre. Par exemple, plus de 60 p. 100 des échanges entre le Canada et les États-Unis transitent par l'Ontario, le transport s'effectuant surtout par camion. En revanche, les biens à destination des autres pays sont expédiés essentiellement par

TABLEAU 1 : Le réseau de transport du Canada (données tirées des références 2, 3 et 4)

Mode	Élément	**Activité** (statistiques annuelles basées sur les plus récentes données disponibles)
Routier	Longueur de routes :[a] 1,42 million de kilomètres Véhicules immatriculés : 17,3 millions (16,6 millions d'automobiles et de véhicules légers; 575 000 véhicules lourds) Stations-service : 16 000	Mouvements de véhicules légers :[b] 282 milliards de kilomètres-véhicules Mouvements de marchandises[c] par des transporteurs établis au Canada : 165 milliards de tonnes-kilomètres Mouvements transfrontaliers par des camions : 13 millions
Ferroviaire	Réseau ferroviaire : 50 000 km	Mouvements de marchandises[c] par des trains canadiens : 321 milliards de tonnes-kilomètres Mouvements de passagers[d] sur VIA Rail : 1,6 milliard de passagers-kilomètres
Aérien	Aéroports : 1 716, dont les 26 aéroports faisant partie du Réseau national des aéroports (RNA) Aéronefs : 28 000	Trafic intérieur de passagers (au Canada) : 26 millions de passagers Trafic international de passagers (États-Unis compris) : 33 millions de passagers Valeur du fret aérien : 82 milliards de dollars
Maritime	Ports : 18 relevant des autorités portuaires canadiennes, plus des centaines de ports régionaux et locaux et de ports de pêche et de plaisance Navires marchands : 2 170	Fret manutentionné dans les ports canadiens : 405 millions de tonnes Passagers sur les traversiers : 40 millions
Transport en commun	Parc de véhicules de transport en commun (autobus et trains) : 14 300	Nombre de passagers : 1,5 milliard

[a] Équivalent deux voies (p. ex., une autoroute à quatre voies sur 100 km est comptée pour 200 km)
[b] Un kilomètre-véhicule correspond à un véhicule parcourant un kilomètre
[c] Une tonne-kilomètre correspond à une tonne transportée sur un kilomètre
[d] Un passager-kilomètre correspond à une personne transportée sur un kilomètre

« Les transports sont essentiels à notre bien-être. Les Canadiens ont besoin d'un réseau de transport fiable, sécuritaire et durable afin de relier nos collectivités et de nous relier à nos partenaires commerciaux. »[1]

Les industries du transport génèrent environ 4 p. 100 du produit intérieur brut du Canada et emploient plus de 800 000 personnes.[2] Ces statistiques, cependant, sont loin de rendre compte de l'importance du transport au pays, étant donné que les véhicules particuliers représentent une grande partie des mouvements de passagers et de marchandises. Tous véhicules confondus, les Canadiens consacrent au transport 150 milliards de dollars par année, soit un dollar sur sept dollars de dépenses.[2] Dans l'ensemble, donc, on ne saurait surestimer l'importance du transport dans la vie des Canadiens.

Le tableau 1 indique l'ampleur des réseaux de transport routier, ferroviaire, aérien et maritime ainsi que l'usage qui en est fait au Canada.

On estime à près de 100 milliards de dollars la valeur du seul réseau routier.[3] Les modes de transport dominants ainsi que le rôle du transport dans l'économie varient d'une région à l'autre. Par exemple, plus de 60 p. 100 des échanges entre le Canada et les États-Unis transitent par l'Ontario, le transport s'effectuant surtout par camion. En revanche, les biens à destination des autres pays sont expédiés essentiellement par

TABLEAU 1 : Le réseau de transport du Canada (données tirées des références 2, 3 et 4)

Mode	Élément	Activité (statistiques annuelles basées sur les plus récentes données disponibles)
Routier	Longueur de routes :[a] 1,42 million de kilomètres Véhicules immatriculés : 17,3 millions (16,6 millions d'automobiles et de véhicules légers; 575 000 véhicules lourds) Stations-service : 16 000	Mouvements de véhicules légers :[b] 282 milliards de kilomètres-véhicules Mouvements de marchandises[c] par des transporteurs établis au Canada : 165 milliards de tonnes-kilomètres Mouvements transfrontaliers par des camions : 13 millions
Ferroviaire	Réseau ferroviaire : 50 000 km	Mouvements de marchandises[c] par des trains canadiens : 321 milliards de tonnes-kilomètres Mouvements de passagers[d] sur VIA Rail : 1,6 milliard de passagers-kilomètres
Aérien	Aéroports : 1 716, dont les 26 aéroports faisant partie du Réseau national des aéroports (RNA) Aéronefs : 28 000	Trafic intérieur de passagers (au Canada) : 26 millions de passagers Trafic international de passagers (États-Unis compris) : 33 millions de passagers Valeur du fret aérien : 82 milliards de dollars
Maritime	Ports : 18 relevant des autorités portuaires canadiennes, plus des centaines de ports régionaux et locaux et de ports de pêche et de plaisance Navires marchands : 2 170	Fret manutentionné dans les ports canadiens : 405 millions de tonnes Passagers sur les traversiers : 40 millions
Transport en commun	Parc de véhicules de transport en commun (autobus et trains) : 14 300	Nombre de passagers : 1,5 milliard

[a] Équivalent deux voies (p. ex., une autoroute à quatre voies sur 100 km est comptée pour 200 km).
[b] Un kilomètre-véhicule correspond à un véhicule parcourant un kilomètre.
[c] Une tonne-kilomètre correspond à une tonne transportée sur un kilomètre.
[d] Un passager-kilomètre correspond à une personne transportée sur un kilomètre.

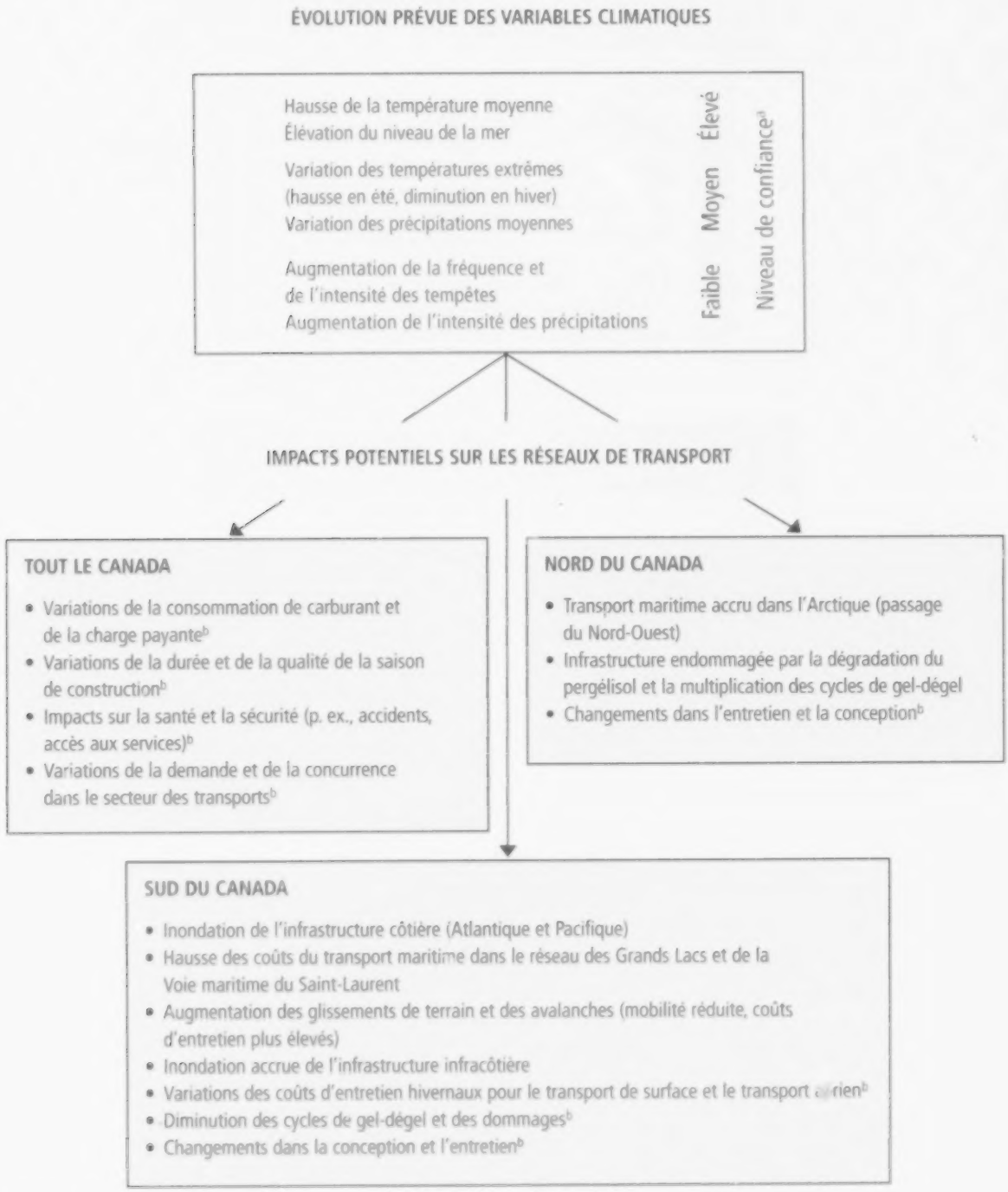
voie de mer, les lignes ferroviaires assurant les liaisons essentielles entre les zones de production et les ports côtiers.[3] En ce qui concerne les mouvements de passagers, les Canadiens de partout se servent de véhicules particuliers pour se déplacer sur de courtes ou de moyennes distances, mais le transport aérien l'emporte dans les mouvements interprovinciaux et internationaux, tandis que le transport en commun est surtout l'apanage des grandes villes. L'évaluation de la vulnérabilité du transport au changement climatique est une étape importante vers la mise en place d'un réseau de transport sûr, efficace et souple au cours des prochaines décennies. Notre réseau actuel est considéré comme l'un des meilleurs au monde.[4] Pourtant, le transport au Canada demeure sensible à un certain nombre de phénomènes atmosphériques, comme en témoignent des événements récents (*voir* le tableau 2). Des changements de l'ampleur de ceux qui accompagneraient une élévation de 1,4 à 5,8 °C[5] de la température planétaire, comme le prévoit le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour le prochain siècle, pourraient avoir des impacts positifs et négatifs sur l'infrastructure et les activités de transport au Canada. Ces impacts seraient causés par des variations du régime des températures et des précipitations, des événements climatiques extrêmes (notamment de violentes tempêtes) et des variations des niveaux d'eau dans les océans, les lacs, les fleuves et les rivières. La figure 1 résume les principaux effets de ces changements sur le réseau de transport canadien.

Dans le présent chapitre, nous examinons l'état de la recherche sur les impacts du changement climatique et l'adaptation dans le secteur des transports au Canada. La recherche dans ce domaine est relativement récente par rapport à celle qui s'effectue dans d'autres secteurs tels que les ressources en eau, l'agriculture et les pêches (qui font l'objet d'autres chapitres du présent rapport). Après un survol des impacts potentiels du changement climatique sur l'infrastructure et les activités de transport, nous examinerons la question de l'adaptation dans la conception et la construction des ouvrages de même que dans les systèmes d'information, compte tenu de la nécessité de doter le Canada d'un réseau de transport plus souple et plus durable. Nous nous concentrerons sur les réseaux routiers, ferroviaires, maritimes et aériens, bien que le secteur des transports, dans son sens le plus large, englobe d'autres types d'infrastructures – pipelines, réseaux de transport d'énergie, réseaux de communication, etc.

TABLEAU 2 : Exemples de la sensibilité du réseau de transport aux phénomènes atmosphériques

2001-2002	Un hiver doux et peu neigeux dans le sud de l'Ontario et du Québec a épargné aux compagnies d'assurance des millions de dollars de réclamations pour des accidents de la route.[7]
2000	Le 21 janvier, une onde de tempête a causé de vastes inondations à Charlottetown et dans d'autres collectivités le long de la côte du golfe du Saint-Laurent, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse.[8]
1999	Le 3 septembre, un carambolage impliquant 87 véhicules attribuable au brouillard sur l'autoroute 401, près de Chatham, en Ontario, a fait 8 morts et 45 blessés.[9]
1999	Un printemps sec aidant, des feux de forêt ont ravagé de vastes étendues et des routes ont dû être fermées temporairement dans tout le nord-ouest de l'Ontario à partir de mai.[10]
1998	La tempête de verglas qui a frappé en janvier l'est de l'Ontario, le sud du Québec et certaines régions des Maritimes a réduit la mobilité des gens, parfois pendant plusieurs semaines, à cause des pannes d'électricité, des arbres brisés et déracinés, et des routes englacées.[11]
1997-1998	À cause du temps doux, le gouvernement du Manitoba a dépensé entre 15 et 16 millions de dollars pour ravitailler par un pont aérien des collectivités isolées par le dégel des chemins d'hiver.[12]
1997	L'écrasement du vol 646 d'Air Canada, le 16 décembre à Fredericton, a été attribué à plusieurs facteurs, dont une réglementation inadéquate, l'erreur humaine et le brouillard.[13]
1996-1997	Des tempêtes de neige se sont abattues à répétition sur l'île de Vancouver, le Lower Mainland et la vallée du Fraser entre le 22 décembre et le 3 janvier. Des chutes de neige extrêmement abondantes, avec des accumulations de 85 centimètres en 24 heures à certains endroits, ont paralysé l'infrastructure routière, ferroviaire et aérienne.[14]

FIGURE 1 : Effets possibles du changement climatique sur le réseau de transport canadien (extrait modifié tiré de la référence 16)



[a] Accord entre les modèles climatiques mondiaux, selon le GIEC[10]

[b] Impacts potentiels, selon des études limitées ou inachevées

Travaux antérieurs

« À l'échelle nationale, l'impact net du changement climatique sur le transport devrait être positif... Toutefois, le degré de vulnérabilité et les impacts possibles varient selon les régions. »[17]

La communauté internationale s'intéresse de plus en plus aux conséquences du changement climatique pour l'infrastructure et les activités de transport.[18, 19] La première évaluation générale des impacts du changement climatique sur le transport au Canada a été entreprise à la fin des années 1980;[20] il s'agissait essentiellement d'une analyse des sensibilités et d'un rapport d'experts. À la fin des années 1990, Andrey et Snow[17] ont procédé à un examen exhaustif de la littérature dans le cadre de l'Étude pancanadienne.

Andrey et Snow[17] concluent qu'il est difficile de généraliser au sujet des effets du changement climatique sur le réseau de transport canadien, étant donné que les impacts varieront certainement selon la région et le mode de transport considéré. Les variations de la température et du niveau marin poseraient des problèmes sérieux à certaines agglomérations du Nord et régions côtières, tandis que l'adoucissement des hivers présenterait des avantages sur le plan du transport dans les régions les plus peuplées du Canada. Dans tous les modes de transport considérés (automobile, camion, train, avion et transport maritime côtier), il faudra relever de nouveaux défis, et les coûts diminueront dans certains cas. Andrey et Snow[17] signalent également que les organismes publics et les entreprises privées prennent de plus en plus conscience de la nécessité d'élaborer des stratégies pour adapter les pratiques de conception et d'exploitation au changement climatique.

Impacts sur l'infrastructure de transport

« Tous les moyens de transport sont sensibles, à divers degrés, aux conditions météorologiques et au climat. »[17]

Il faut des installations et des structures de toutes sortes pour assurer le déplacement des personnes et le transport des marchandises – les routes, les chemins de fer, les pistes d'atterrissage, les terminaux maritimes, les canaux et les ponts en sont des exemples. Le climat et les conditions atmosphériques influent sur la planification, la conception, la construction, la maintenance et l'exploitation de ces installations tout au long de leur durée de vie. Notre réseau actuel a beau être robuste, certaines de ses composantes résisteront difficilement à certaines conditions atmosphériques. Par ailleurs, un réchauffement climatique pourrait se traduire par des économies pour ceux qui construisent, entretiennent et utilisent l'infrastructure de transport du Canada.

Impacts des variations de la température sur les transports de surface

Les données indiquent de façon très nette que les températures minimales et maximales augmentent depuis une cinquantaine d'années dans la plupart des régions du Canada,[21] et que la distribution des températures va probablement continuer à varier tout au long du siècle. Les impacts de ces changements sur l'infrastructure de transport varieront d'une région à l'autre, car le changement climatique ne se manifestera pas partout avec la même ampleur et que les conditions environnementales seront différentes. Par exemple, l'infrastructure des régions nordiques du Canada (dont nous traiterons séparément ci-après) est particulièrement sensible au réchauffement des températures. De façon générale, on s'attend à une augmentation de la fréquence des journées très chaudes dans la plupart des régions du Canada, et à une diminution de la fréquence des journées très froides.[15] Globalement, les effets des variations de la température seront vraisemblablement plus prononcés l'hiver, car le réchauffement projeté sera plus marqué durant la saison froide que durant l'été.

Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des journées chaudes pourrait causer des problèmes aux routes, en raison de l'amollissement de la chaussée et de la formation d'ornières, et du fait de la remontée d'asphalte liquide à la surface (par ressuage) sur les chaussées anciennes ou mal construites. Le problème de l'orniérage pourrait s'aggraver avec l'allongement de la saison chaude sur les routes empruntées par les poids lourds, tandis que les chaussées construites de longue date ou celles contenant un excès d'asphalte pourraient ressuer. Ces problèmes pourraient normalement être évités grâce à des techniques de conception et de construction adéquates, mais au prix d'une augmentation des coûts.[22]

Actuellement au Canada, les températures froides hivernales constituent un problème beaucoup plus important que la chaleur estivale dans le secteur des transports. La fissuration de la chaussée sous l'action du gel à basse température et sous l'effet des gels et dégels successifs est un problème bien connu dans la majeure partie du sud du Canada. En 1992, la Commission royale sur le transport des voyageurs au Canada a conclu que les facteurs environnementaux sont la principale cause de la détérioration de la chaussée (jusqu'à 50 p. 100 de la détérioration sur les routes à trafic élevé et jusqu'à 80 p. 100 de la détérioration sur les routes à faible trafic).[23] La détérioration prématurée de la chaussée des routes et des pistes d'atterrissage est associée à une fréquence élevée des cycles de gel-dégel, surtout lorsque l'assise est constituée de matériaux saturés à grain fin.[24] Dans le sud du Canada, le changement climatique pourrait réduire la fréquence des cycles de gel-dégel,[25] de sorte que la chaussée s'endommagerait moins. Par contre, dans le nord, la chaussée demeure actuellement solide tout au long de l'hiver parce que l'assise reste gelée jusqu'au printemps.[22] Or, un adoucissement des hivers, accompagné d'une augmentation de la fréquence des cycles de gel-dégel, accélérerait la détérioration des routes et augmenterait les coûts d'entretien sous les latitudes élevées. Toutefois, un accroissement de la fréquence des dégels hivernaux dans ces régions pourrait être compensé, du moins en partie, par une diminution du nombre de dégels printaniers. Actuellement, on connaît très bien les processus physiques qui s'opèrent, mais il faut aussi recenser et évaluer à fond les facteurs qui rendent le réseau routier canadien vulnérable aux cycles de gel-dégel, afin d'être en mesure d'en estimer les effets nets et de commencer à élaborer des stratégies d'adaptation applicables à la construction et à la reconstruction des routes.

L'infrastructure ferroviaire est également exposée à des températures extrêmes. Les voies risquent de ployer sous une très forte chaleur. Ce facteur pourrait d'ailleurs expliquer en partie le déraillement d'un train de la compagnie Amtrak le 29 juillet 2002, dans l'État du Maryland.[26] Comme dans le cas des routes, les très grands froids posent actuellement plus de problèmes que les chaleurs extrêmes dans les réseaux ferroviaires; ils augmentent la fréquence des bris de rail, les dispositifs d'aiguillage gèlent et les roues doivent être remplacées plus fréquemment. Dans l'ensemble, d'ailleurs, on croit que le réchauffement procurera un léger avantage à l'infrastructure ferroviaire canadienne, sauf dans les régions où les voies ferrées reposent sur le pergélisol (comme nous le verrons dans la section qui suit). Notons toutefois qu'il s'est fait très peu de recherches jusqu'à présent au sujet des impacts du changement climatique sur l'infrastructure ferroviaire au Canada.

Problèmes liés aux variations des températures dans le Nord

Dans le domaine des réseaux de transport, le réchauffement atmosphérique soulève plusieurs questions particulières aux régions septentrionales du Canada, où, pense-t-on, il sera le plus marqué et où le paysage physique est très sensible aux variations de la température. Le pergélisol (le sol qui demeure à une température inférieure à 0 °C pendant plus de 12 mois consécutifs), qui couvre presque la moitié du territoire canadien,[27] fournit une assise stable à une bonne partie de l'infrastructure de transport dans le Nord, c'est-à-dire les routes toute saison, les pistes d'atterrissage et de courts tronçons de chemin de fer, comme la ligne OmniTRAX qui va jusqu'au port de Churchill, au Manitoba. La dégradation du pergélisol sous l'action du réchauffement climatique augmentera la profondeur du dégel saisonnier et accentuera la fonte de la glace qui s'y trouve ainsi que le réchauffement de la zone gelée, dont la capacité portante sera ainsi réduite. Les pistes d'atterrissage pavées sont probablement parmi les structures les plus vulnérables aux variations du pergélisol, car elles absorbent déjà l'énergie solaire et contribuent à élever les températures de surface.

Les chemins de glace, que l'on aménage en dégageant une route à travers le sol, les lacs ou les cours d'eau gelés, jouent un rôle important dans le transport en milieu nordique, car ils assurent le ravitaillement des collectivités et les déplacements de l'industrie des ressources (*voir* la figure 2). Bien que la période d'exploitation varie d'un endroit à l'autre et d'une

FIGURE 2 : Chemin de glace à Yellowknife

Photo : Gracieuseté de Diavik Diamond Mines Inc.

année à l'autre, ces chemins sont ordinairement empruntés pendant la période de novembre-décembre à mars-avril. L'adoucissement des hivers, comme le prévoient les experts du changement climatique, aurait pour effet de raccourcir de plusieurs semaines la période de fréquentation des chemins de glace,[28] à moins que l'on ne trouve des ressources supplémentaires pour mettre en œuvre des techniques de construction et de maintenance plus intensives et plus avancées. En 1998, des températures supérieures à la normale ont entraîné la fermeture du chemin d'hiver qui mène à Fort Chipewyan, et le gouvernement de l'Alberta a dû venir en aide aux résidants du village pour leur ravitaillement.[29] La diminution de la période de fréquentation des chemins de glace pourrait être compensée en partie par un allongement de la saison d'eau libre ou de l'inter-glaciel dans les régions accessibles par barge. Cependant, compte tenu des limites actuelles des prévisions climatiques mensuelles et saisonnières, il sera difficile de planifier l'utilisation des barges et des chemins d'hiver. En outre, dans certaines régions, les infrastructures et services portuaires ne pourront peut-être pas soutenir l'augmentation de la demande, et plusieurs secteurs qui comptent actuellement sur les chemins d'hiver, comme la région diamantifère des Territoires du Nord-Ouest, sont enclavés et privés de tout accès aux barges.

Ainsi, la hausse des températures associée au changement climatique risque de compliquer le développement économique de certaines régions nordiques.

Incidence des variations du régime de précipitations sur l'infrastructure de transport

Les impacts du changement climatique sur les futurs régimes de précipitations sont beaucoup plus difficiles à prévoir que les impacts sur les températures, notamment en raison de la très grande variabilité des précipitations et de l'incapacité des modèles climatiques actuels de rendre compte de certains processus atmosphériques. On croit cependant que les précipitations annuelles vont probablement s'accroître sur une bonne partie du territoire canadien, et que le ratio des précipitations liquides aux précipitations solides va augmenter au sud. Le passé nous offre plusieurs exemples de dommages causés aux infrastructures de transport par des glissements de terrain et des inondations provoqués par des pluies. En 1999, une coulée de débris dans les Rocheuses, que l'on attribue à un épisode de pluie localisé, a bloqué la route transcanadienne pendant plusieurs jours durant la saison touristique.[30] En 1997, une coulée boueuse dans le canyon du Fraser a balayé une section de la voie ferrée du Canadien National, provoquant le déraillement d'un train de marchandises et tuant deux membres d'équipage (*voir* la référence 31, *voir aussi* la figure 3).

FIGURE 3 : Déraillement d'un train du Canadien National provoqué par un glissement de terrain dans le canyon du Fraser

Photo : Gracieuseté de S. Evans.

Un changement dans la période, la fréquence, la forme ou l'intensité des précipitations se répercuterait sur les processus naturels comme les coulées de débris, les avalanches et les inondations. Par exemple, on craint que les variations de la fréquence et de l'intensité des événements hydroclimatiques, en particulier les pluies et les chutes de neige extrêmes, ne perturbent plus fréquemment les couloirs de transport dans les montagnes de l'Ouest canadien, en raison de l'augmentation de la fréquence des glissements de terrain.[32] Dans le même ordre d'idées, on se préoccupe de la stabilité des terrains constitués de sédiments riches en argile dans certaines parties de l'est de l'Ontario et du sud du Québec.[33] Outre leurs effets sur les routes et les chemins de fer, les talus déstabilisés par les précipitations menacent d'autres infrastructures critiques, tels les pipelines (*voir* l'encadré 1).

ENCADRÉ 1 : Effets de l'instabilité des talus sur les infrastructures linéaires[34]

Les variations de la durée, du volume et de l'intensité des précipitations peuvent augmenter les mouvements de terrain et accentuer l'instabilité des talus. Ces mouvements du sol pourraient, à leur tour, menacer l'intégrité structurale des éléments d'infrastructure linéaires, comme les pipelines, les routes et les voies ferrées, en les soumettant à des contraintes additionnelles. Dans cette étude, les chercheurs ont examiné l'intégrité des pipelines dans l'Ouest canadien. Au moyen d'une méthode de modélisation, ils ont tenté de prévoir l'effet des changements de précipitations sur les taux de déplacement des talus. Les résultats obtenus ont permis de déterminer des seuils critiques qui aideront l'industrie et les organismes de réglementation à planifier en fonction des impacts potentiels du changement climatique.

Photo : Gracieuseté de I. Konuk.

Pipeline réparé.

L'augmentation de l'intensité et de la fréquence des épisodes de pluies abondantes[35] influerait sur la conception des chemins, des autoroutes, des ponts et des ponceaux de même que sur la gestion des eaux de ruissellement, en particulier dans les secteurs urbains où le réseau routier occupe une bonne partie de la surface.[36] Les précipitations et l'humidité contribuent également à l'altération météorologique de certains éléments de l'infrastructure de transport, comme les ponts et les garages de stationnement. La détérioration de ces structures peut s'accélérer dans les régions où les épisodes de précipitations et les cycles de gel-dégel augmentent en fréquence, surtout en milieu de pluies acides.[37, 38]

Coûts de maintenance associés à la neige et à la glace

La rigueur des hivers canadiens impose des dépenses considérables aux gouvernements et aux entreprises. En général, on pense qu'un réchauffement climatique se traduirait par une réduction des coûts associés au déneigement et au déglacement des routes et au dégivrage des aéronefs.

Au Canada, les gouvernements provinciaux et les administrations locales dépensent collectivement près de 1,3 milliard de dollars par année pour le déneigement et le déglacement des voies publiques. Ils épandent des abrasifs (du sable) et environ cinq millions de tonnes de sel, dégagent les voies avec des chasse-neige et des souffleuses, et construisent des écrans pare-neige.[39, 40] Les relations empiriques entre les variables atmosphériques et les activités de déneigement indiquent qu'une diminution des précipitations solides s'accompagnerait d'une réduction des activités d'entretien hivernales.[41, 42] Elle pourrait également procurer des avantages indirects, comme une diminution de la corrosion des véhicules par le sel et une réduction des apports de sel sur les routes. Cependant, les études réalisées jusqu'à maintenant à ce sujet ne s'appliquent pas à toutes les régions climatiques du Canada, pas plus qu'elles ne rendent compte des variations possibles des caractéristiques des tempêtes, comme le phénomène du givrage.[43]

On sait qu'une seule tempête peut absorber une grande partie du budget d'entretien hivernal d'une municipalité.[43] Une succession de tempêtes, dont les effets s'additionnent, peut également occasionner des coûts substantiels. Par exemple, en janvier 1999, l'Ontario a été frappé par une série de tempêtes de neige avec des précipitations intenses et des températures extrêmement froides.[43] Cet épisode a réduit la mobilité des gens et mis à rude épreuve la capacité des systèmes en place de continuer à assurer des services de transport fiables. D'après l'information recueillie auprès de plusieurs organismes publics et

entreprises, les pertes ont dépassé 85 millions de dollars. Les organisations qui s'en sont bien tirées ont mentionné les avantages d'une expérience des situations d'urgence et la capacité de mettre en œuvre des plans de prévoyance qui réduisent la dépendance à l'égard du transport. Par suite de cet événement, les organismes de transport ont généralement repensé leurs systèmes pour être en mesure de faire face à des situations hivernales plus critiques.

Les compagnies ferroviaires ont elles aussi des plans et des procédures d'exploitation pour composer avec les conditions atmosphériques hivernales, qui leur coûtent des millions de dollars chaque année. Elles ont recours à diverses mesures, comme l'enlèvement de la neige, l'épandage de sable et de sel, l'inspection des voies et des roues, des ordres de ralentissement temporaires et la formation du personnel. On s'attend à ce que l'adoucissement ou le raccourcissement des hivers procurent des avantages à l'industrie ferroviaire, mais cette conclusion s'appuie sur des recherches limitées.

Dans l'industrie du transport aérien, on applique chaque année dans le monde jusqu'à 50 millions de litres de produits chimiques pour prévenir l'accumulation de la glace sur les ailes et garder les pistes d'atterrissage bien dégagées.[44] Les principaux produits chimiques que l'on emploie au Canada sont les glycols, pour le déglaçage des aéronefs, et l'urée, pour le dégagement des installations aéroportuaires. Les experts croient qu'un adoucissement du climat se traduirait probablement par une réduction de la consommation de produits chimiques et, du même coup, par une diminution des coûts des entreprises de transport aérien[44] et des dommages causés à l'environnement (p. ex., pollution de l'eau).

Dans l'industrie du transport maritime, les services de brise-glace constituent une activité importante de la Garde côtière canadienne. Ils consistent notamment à organiser des convois et à escorter des navires à travers les eaux recouvertes par les glaces, à communiquer de l'information sur les glaces, à conseiller les navigateurs sur la route à emprunter, à dégager les bateaux emprisonnés dans les glaces et à garder les eaux portuaires libres de glace.[22] Une réduction de l'étendue et de l'épaisseur des glaces diminuerait la demande de services de brise-glace et pourrait faire économiser des millions de dollars en frais d'équipement et d'exploitation.[45] Par ailleurs, la Garde côtière canadienne pourrait devoir augmenter ses services dans l'Arctique canadien en raison de la possibilité d'un accroissement du transport maritime dans l'archipel arctique (*voir* le chapitre intitulé « Les zones côtières »). Depuis 30 ou 40 ans, la réduction de la couverture glacielle dans l'Arctique (*voir* le chapitre intitulé « Les pêches ») attire une attention accrue sur la possibilité d'utiliser le passage du Nord-Ouest comme routes maritime internationale.[46, 47] En fait, plusieurs estiment qu'un maintien de la tendance au réchauffement ferait augmenter considérablement le transport maritime dans les eaux arctiques (p. ex., références 47 et 48). Or, s'il est vrai que la couverture glacielle perdrait de son étendue, le péril pourrait augmenter puisque la région deviendrait alors accessible aux icebergs détachés des glaciers nordiques et à la glace pluriannuelle épaisse et dangereuse en provenance du centre du bassin arctique.[49] Dans l'ensemble, l'ouverture du passage du Nord-Ouest présenterait une foule de défis et de possibilités sans précédent dans le Nord canadien, notamment sur le plan du développement économique, de la souveraineté, de la sécurité et de l'environnement.

Impacts de l'élévation du niveau marin sur les milieux côtiers

Les experts s'attendent à ce que l'élévation moyenne du niveau de la mer se situe dans la fourchette de 9 à 88 centimètres en 2100; les variations régionales seraient considérables (*voir* la référence15; *voir aussi* le chapitre intitulé « Les zones côtières »). Il ne fait guère de doute qu'une élévation du niveau moyen de la mer conjuguée à des marées élevées et à des ondes de tempête causerait des problèmes aux réseaux de transport dans certaines régions côtières des Maritimes, du Québec, du sud-ouest de la Colombie-Britannique et des Territoires du Nord-Ouest.[50] Les experts ont dressé plusieurs inventaires des sites et des structures vulnérables dans la région canadienne de l'Atlantique (p. ex., référence 8). Une augmentation d'un demi-mètre (50 centimètres) suffirait à mettre en péril un grand nombre de ponts et de jetées, certaines installations maritimes (p. ex., des ports et des havres) ainsi que des structures municipales enfouies sous les voies publiques, qu'elle risquerait d'inonder ou d'endommager. Dans certaines collectivités, les crues

pourraient mettre hors d'atteinte des routes d'évacuation, des services d'urgence et des hôpitaux essentiels.[51] Elles affecteraient des infrastructures dont la valeur de remplacement est estimée à plusieurs centaines de millions de dollars, à moins que des mesures d'adaptation appropriées ne soient prises au cours des prochaines décennies.

Certains éléments de l'infrastructure de transport aérien sont également vulnérables à une élévation du niveau marin. Sur les quelque 1 400 aéroports et héliports terrestres certifiés ou enregistrés au Canada, une cinquantaine sont situés à cinq mètres ou moins au-dessus du niveau de la mer.[52] Le plus gros d'entre eux, l'aéroport international de Vancouver, est actuellement protégé par des digues en raison de sa faible altitude sur le delta du Fraser. Une élévation du niveau marin pourrait nécessiter un surcroît de protection ou la relocalisation de certaines des installations menacées.

Impacts sur les activités de transport

Le changement climatique pourrait également influer sur la mobilité, l'efficacité, la santé et la sécurité ainsi que la demande des services de transport.

Mobilité et efficacité des services

Dans tous les modes de transport, la météo provoque de temps à autre des interruptions de service. Par exemple, selon des études faites aux États-Unis, le quart des retards dans le transport de surface[53] et un pourcentage encore plus important des retards dans le transport aérien sont attribuables à des causes météorologiques. Il est pratiquement impossible de prévoir avec la moindre certitude le nombre d'annulations de voyages, de détournements ou de retards qui se produiraient dans un contexte de changement climatique, et d'en déterminer les coûts sociaux. La plupart des observateurs estiment néanmoins qu'une diminution du nombre de tempêtes hivernales serait à l'avantage des entreprises de transport et du public.

Par contre, on s'attend à ce que le changement climatique ait un effet négatif sur l'efficacité de certaines opérations de transport de marchandises, à cause de la diminution de la charge marchande. Le cas le plus préoccupant à cet égard est celui du transport maritime dans le réseau des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent. Presque tous les scénarios de changement climatique prévoient une réduction des niveaux d'eau dans les Grands Lacs et une baisse des débits des voies interlacustres, principalement à cause d'une augmentation de l'évaporation consécutive à une hausse des températures (*voir* les références 54 et 55; *voir aussi* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »). Plusieurs études portant sur les conséquences d'un abaissement des niveaux d'eau pour le transport maritime dans les Grands Lacs[56, 57, 58] débouchent sur des conclusions analogues : les coûts du transport maritime des principaux produits (minerai de fer, grain, charbon et calcaire) vont probablement augmenter du fait qu'il faudra faire un plus grand nombre de voyages pour acheminer la même quantité de marchandises. En fait, au cours des dernières années, il est arrivé fréquemment que des laquiers soient obligés de se délester en raison du faible niveau d'eau. Par exemple, les volumes transportés sur la Voie maritime du Saint-Laurent ont été beaucoup moins élevés qu'au cours des cinq années précédentes, en partie à cause de la faiblesse des niveaux d'eau.[59] Si la perspective d'un allongement de la saison de navigation sans glace est généralement favorable aux transporteurs maritimes des Grands Lacs, elle ne compensera probablement pas les pertes associées à la baisse des niveaux d'eau.

Le changement climatique risque d'entraîner une réduction des charges payantes dans les autres modes de transport également, mais l'impact sera sans doute relativement léger. Une élévation des températures et, en particulier, une augmentation du nombre de journées très chaudes pourraient réduire la capacité d'emport des aéronefs, étant donné que l'air froid (plus dense) améliore la sustentation. La chaleur est également un facteur à considérer dans le transport ferroviaire, car les exploitants sont parfois forcés d'émettre des avis de ralentissement à cause du danger de ploiement dû à la chaleur.[60] En outre, des hivers plus doux ou des printemps plus humides pourraient nécessiter une réduction des charges transportées sur les chemins forestiers privés et sur les voies publiques.

Les experts considèrent également les effets d'un réchauffement sur la consommation de carburant des véhicules,[61] qui, pensent-ils, devrait augmenter légèrement autant dans le transport de surface que dans le transport aérien.[22] Dans le cas des automobiles et

des camions, on s'attend à ce qu'un usage accru des climatiseurs entraîne une augmentation de la consommation de carburant que la baisse d'utilisation des pneus d'hiver et des dégivreurs ne parviendra pas à compenser. Dans le cas des avions, on croit que le réchauffement des températures entraînera une baisse du rendement des moteurs.

Santé et sécurité

La météo provoque chaque année un grand nombre d'accidents au Canada, dont une dizaine de déraillements et d'incidents aériens, plus d'une centaine d'accidents maritimes et des dizaines de milliers de collisions sur les routes.[2, 62, 63] D'aucuns prévoient qu'un adoucissement des hivers pourrait diminuer le nombre d'incidents causés par les conditions du temps, surtout sur les routes, car il est bien connu que la fréquence des collisions augmente pendant et après des chutes de neige. Or, un grand nombre de collisions attribuables à la neige sont en fait de simples accrochages. Quand il est question de santé et de sécurité des personnes, on se préoccupe surtout des incidents entraînant des blessures, qui se produisent plus souvent par temps plus chaud (*voir* l'encadré 2).

Des recherches récentes effectuées dans plusieurs villes canadiennes indiquent que les risques de blessures associés à des accidents de la circulation s'accroissent d'environ 45 p. 100 au cours des épisodes de précipitations par rapport aux conditions saisonnières normales, mais que les augmentations sont du même ordre de grandeur pour les chutes de neige et pour la pluie.[64] En conséquence, tout changement dans lequel une diminution des chutes de neige s'accompagnerait d'une augmentation des précipitations liquides, comme le prévoient la plupart des scénarios de changement climatique,[15] aura vraisemblablement un impact minime sur les accidents. Toutefois, le risque de blessures pourrait augmenter dans les secteurs où les précipitations gagneront en intensité.

Dans le domaine du transport maritime, les variations de l'état des glaces, des niveaux d'eau et de la fréquence des phénomènes météorologiques violents risquent d'influer sur la demande de services d'intervention d'urgence. Par exemple, un accroissement du trafic dans l'Arctique à la faveur de la contraction de la couverture glacielle augmenterait probablement la fréquence des accidents.[49] Dans le même ordre d'idées, un abaissement des niveaux d'eau dans le réseau des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent pourrait accroître le risque d'échouement, alors que des niveaux marins plus élevés et des conditions atmosphériques plus rigoureuses risqueraient de rendre les conditions de transport maritime plus dangereuses.

ENCADRÉ 2 : Conditions atmosphériques et accidents de la circulation[64]

Ouimet *et al.*[64] ont étudié l'incidence de la corrélation entre des variables météorologiques, comme la température et les précipitations, et les accidents de la circulation dans la grande agglomération de Montréal entre 1995 et 1998.

Ils ont constaté que la fréquence des accidents est maximale durant les mois d'été (juin, juillet et août), les accidents graves et mortels étant alors presque deux fois plus nombreux que durant l'hiver et au début du printemps. Les taux d'accidents s'accroissent avec l'élévation des températures estivales. Certaines explications ont été proposées, notamment les variations saisonnières du volume de trafic, ainsi qu'éventuellement l'effet de la chaleur et la consommation d'alcool sur le comportement humain.

En hiver, les conditions météorologiques difficiles augmentent les risques d'accrochages dans la région à l'étude. L'incidence des tempêtes hivernales, des chutes de neige et du temps froid sur les accidents est particulièrement prononcée sur les routes où la vitesse permise est élevée de même que sur les voies de circulation en milieu urbain.

Photo : Gracieuseté de la base de données photographique de Ressources naturelles Canada.

Les transformations qui s'opéreront dans l'industrie du transport sous l'effet du changement climatique pourraient avoir une incidence indirecte sur la santé humaine. Par exemple, les perturbations des services de transport seraient susceptibles de réduire l'accès aux soins de santé d'urgence, quoique l'on possède peu d'information à ce sujet. Dans le chapitre intitulé « La santé et le bien-être humains », il est question des polluants atmosphériques, notamment des émissions d'échappement des véhicules, et de leurs relations avec la qualité de l'air.

Demande de services de transport

La demande de services de transport est dictée d'abord et avant tout par des considérations d'ordre économique et social. Étant donné que le changement climatique aura probablement des répercussions économiques à l'échelle locale et régionale, il influera indirectement sur la demande de services de transport. Il n'est pas possible d'estimer avec quelque certitude les conséquences du changement climatique sous ce rapport, mais nous supposons intuitivement que les attributs spatiaux et temporels de la demande de services de transport pourraient se modifier dans le cas de certaines marchandises, en particulier celles qui sont sensibles aux conditions atmosphériques. Par exemple, si la distribution spatiale de la production agricole venait à changer en raison d'un allongement de la campagne agricole ou pour toute autre raison apparentée au climat (*voir* le chapitre intitulé « L'agriculture »), il est permis de penser que certains services verraient le jour alors que d'autres diminueraient. En outre, on peut raisonnablement supposer que le changement climatique aura des effets sur le tourisme, la croissance régionale, la production d'énergie et même l'immigration, lesquels se répercuteront sur la demande et la répartition géographique des déplacements dans les divers modes de transport.

En plus des variations de la demande suscitées par des facteurs climatiques, il est important de tenir compte des tendances et des prévisions des services de transport,[4] en se demandant si les perturbations et les coûts attribuables aux conditions météorologiques vont s'amplifier ou, au contraire, s'atténuer. La plupart des scénarios établis pour l'Amérique du Nord prévoient que la mobilité va augmenter au cours des prochaines décennies, en valeur absolue et par habitant, et que la croissance sera plus rapide dans les secteurs du transport routier et du transport aérien.[4]

Ces deux modes de transport sont actuellement sensibles au climat à plusieurs égards, et ils le demeureront vraisemblablement. Ces sensibilités doivent être convenablement prises en compte dans les études sur les impacts du changement climatique et l'adaptation, ainsi que dans les décisions prises au sein de l'industrie du transport.

Adaptation

« *Peut-être plus que dans tout autre secteur, les mesures d'adaptation prises dans le secteur du transport tireront parti des possibilités offertes par le changement climatique.* »[122]

L'industrie canadienne du transport a investi dans un grand nombre de mesures pour s'adapter à la variabilité actuelle du climat et des conditions atmosphériques. Ces mesures d'adaptation, conçues pour protéger les infrastructures, préserver la mobilité et assurer la sécurité, impliquent des dépenses considérables dans bien des cas, mais elles contribuent à mettre en place un système robuste capable de soutenir un large éventail de conditions, comme c'est le cas actuellement. Cela dit, les systèmes de transport sont constitués d'équipements de longue durée qu'il n'est pas facile de déplacer, de redessiner ou de reconstruire. D'où la nécessité d'une planification à long terme qui tient compte non seulement de notre passé récent, mais aussi de notre avenir immédiat et lointain.

Dans un contexte de changement climatique, la nature et l'éventail des mesures d'adaptation changeraient vraisemblablement; les coûts augmenteraient dans certains secteurs et diminueraient dans d'autres. Cependant, les experts ont généralement l'impression que les risques seront maîtrisables, moyennant une planification judicieuse. Or, en ce moment, il semble que le changement climatique n'entre pas tellement en ligne de compte dans les décisions qui se prennent dans le domaine du transport. Dans les pages qui suivent, nous donnons des exemples de pratiques actuelles, d'innovations et de mesures d'adaptation possibles qui sont susceptibles de réduire la vulnérabilité au changement climatique. Globalement, la stratégie proposée est proactive plutôt que réactive.

Normes et pratiques de conception et de construction

Les sensibilités climatiques se reflètent dans les normes et les protocoles de conception et de construction. Peu importe la forme de l'infrastructure, qu'elle soit nouvelle ou non, le processus de planification des services de transport doit tenir compte des effets probables du changement climatique et aller même jusqu'à augmenter plus qu'il ne le faut la tolérance des équipements aux conditions atmosphériques et climatiques.

Dans les régions côtières menacées par une élévation du niveau de la mer et une augmentation des ondes de tempête, l'adaptation pourrait consister à déplacer des installations et à modifier ou moderniser des structures en les dotant de la protection voulue (*voir* le chapitre intitulé « Les zones côtières »). Prenons par exemple le pont de la Confédération qui relie l'Île-du-Prince-Édouard au Nouveau-Brunswick. Les concepteurs de cet ouvrage ont prévu une hausse de un mètre du niveau marin, afin de réduire l'impact potentiel d'un réchauffement planétaire tout au long de la durée du pont, estimée à 100 ans.[65, 66]

Considérons maintenant les ouvrages à revêtement d'asphalte, comme les routes et les pistes d'atterrissage. Actuellement, on tient compte des variations de la température dans la sélection des ciments d'asphalte (et des émulsions de bitume dans le cas des voies de circulation traitées en surface). On cherche en somme à limiter autant que possible la fissuration par temps froid et la formation d'ornières par temps chaud. Pour faire face à des étés plus chauds dans le sud du Canada, il faudra peut-être utiliser des ciments d'asphalte plus coûteux, car les matériaux qui entrent dans la composition des chaussées ont une tolérance limitée à la chaleur, et les contraintes auxquelles ils sont soumis sont d'autant plus sévères que les températures demeurent élevées plus longtemps.[22] Malgré ses coûts, cette mesure pourrait être prise au moment de la construction ou de la reconstruction. Les changements dans les dommages causés par les cycles de gel-dégel sont plus difficiles à prévoir, mais certaines innovations en matière de conception et de construction pourraient réduire la vulnérabilité actuelle et future du réseau routier du Canada. Par exemple, le Conseil national de recherches du Canada mène des recherches en vue de trouver des moyens de limiter le soulèvement et la fissuration de la chaussée autour des trous d'homme.

En ce qui concerne les structures construites sur le pergélisol pour le transport et à d'autres fins, l'expérience du dernier siècle nous a appris un certain nombre de leçons. Ainsi, parce qu'on n'a pas employé les bonnes techniques de conception ni assuré l'entretien régulier de la voie ferroviaire entre The Pas et Churchill, au Manitoba, au début du XX^e^ siècle, le réseau a subi des dommages importants, l'affaissement du terrain et le gel ayant tordu et déplacé les rails à certains endroits.[27] Aujourd'hui, même si les travaux de construction en milieu de pergélisol passent par une sélection rigoureuse des tracés, la plupart des décisions ne tiennent pas compte du changement climatique à venir, en partie en raison du manque de données et de cartes (*voir* l'encadré 3). Pourtant, plusieurs moyens sont déjà utilisés pour augmenter la longévité de l'infrastructure construite sur le pergélisol. Par exemple, on a posé une couche isolante de polystyrène sous une partie de la route de Dempster, près d'Inuvik,[27] et le pipeline de Norman Wells, en service depuis 1985, comporte plusieurs caractéristiques uniques conçues pour limiter toute perturbation dans le pergélisol sujet au dégel. Une autre possibilité consiste à construire des installations temporaires qui sont plus faciles à déplacer (p. ex., référence 67). Certes, ces pratiques occasionnent des coûts supplémentaires, mais on voit qu'il existe des moyens de faire face au changement climatique dans un environnement très fragile.

Il existe également des solutions novatrices au problème des chemins de glace dont la durée est courte ou incertaine. On peut, par exemple, avoir davantage recours au transport par barge durant l'été, investir davantage dans la construction et l'entretien des chemins de glace pour en prolonger la durée (p. ex., construction de passages de cours d'eau permanents) ou construire des routes toute saison. On peut aussi songer à des solutions tout à fait originales, comme la décision prise récemment d'utiliser des ballons pour assister le transport de l'équipement pétrolier sur des chemins de glace dans l'Arctique canadien et en Alaska.[69]

Pour ce qui est de la navigation sur les eaux intérieures, il serait peut-être sage de concevoir des écluses plus larges ou plus profondes que ce dont on a besoin dans les conditions climatiques actuelles, car il est plus facile de prévenir que de guérir. Dans le réseau des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent, une autre solution serait d'investir

ENCADRÉ 3 : Sélection des tracés en milieu de pergélisol[68]

On s'attend à ce que l'élévation des températures réduise l'étendue et l'épaisseur du pergélisol dans la vallée du Mackenzie, et augmente la température du pergélisol préservé. Ces facteurs pourraient compromettre la fiabilité et la stabilité des couloirs de transport et des ouvrages qui y sont construits.

La plupart des cartes du pergélisol ne contiennent pas suffisamment d'information pour bien rendre compte de la relation entre le changement climatique et le pergélisol. Dans cette étude, les chercheurs se sont servi de modèles pour définir les associations entre le changement climatique et les températures du sol. Les organismes de transport appliquent maintenant ces méthodes de modélisation aux données spatiales à haute résolution (< 100 mètres) couvrant la vallée du Mackenzie, afin de prendre leurs décisions et, notamment, de choisir les tracés des nouvelles routes et des nouveaux pipelines.

Les résultats d'un modèle indiquant une répartition de pergélisol dans une partie de la vallée du Mackenzie dans des conditions équilibrées du climat de référence (à gauche) et avec un réchauffement de 2 °C (à droite).

dans des navires à plus faible tirant. Le dragage est souvent employé dans de faibles profondeurs d'eau (*voir* la référence 70; *voir aussi* le chapitre intitulé « Les zones côtières »), on y a eu largement recours durant les récentes périodes de sécheresse en 2001, malgré les réticences de certains chercheurs qui s'inquiètent du devenir des sédiments contaminés.[71]

Le temps qu'il faut pour que le changement climatique fasse sentir tous ses effets et la durée de vie utile de plusieurs types d'infrastructure de transport se comptent, non pas en années, mais en décennies. D'où l'importance de procéder à des recherches scientifiques appliquées qui nous permettront de nous assurer que les éléments d'infrastructure remplacés ou modernisés se rendront au terme de leur vie utile.

Systèmes d'information

Les gestionnaires du transport utilisent trois types de stratégies – consultation, contrôle et traitement – pour atténuer les impacts sur les voies de circulation. Chacune d'elles exige de l'information détaillée propre au site considéré, souvent en temps réel. Les données sur les conditions atmosphériques et physiques peuvent être intégrées à des systèmes de transport intelligents (STI), comme des systèmes automatisés d'aiguillage du trafic et de conseil aux voyageurs, pour régler des problèmes de transport. Dans tout le monde industrialisé, les gouvernements investissent des centaines de millions de dollars dans des STI afin d'améliorer la mobilité et la sécurité des voyageurs et de réduire les coûts d'entretien. Le système d'information sur les conditions routières SEIMER (Systèmes évolués d'information météorologiques sur l'état des routes) est un exemple de système d'information météo; il sert principalement à l'entretien hivernal des routes. Ainsi, le ministère des Transports de l'Ontario utilise les données provenant de 39 stations SEIMER pour observer et prévoir les conditions du temps et l'état des routes, de même que pour réduire l'utilisation du sel sur les voies publiques.[72] Le système automatisé d'identification (SAI) que les navigateurs emploient pour se transmettre de l'information et pour communiquer avec la côte constitue un autre exemple. Il peut s'agir de données sur les niveaux d'eau, la vitesse des vents et l'état des glaces, ou encore de messages de sécurité (*voir* la référence 73).

Du point de vue du changement climatique, il importe de contribuer à orienter le développement et l'application des technologies d'information de manière à en maximiser les avantages sur le plan de la mobilité et sur celui de la sécurité, autant dans les conditions actuelles que futures.

Adoption de systèmes plus tolérants et durables

De plus en plus de voix s'élèvent en faveur d'une stratégie pour doter le Canada d'un réseau de transport plus durable, où l'environnement et l'équité seraient des priorités au même titre que l'efficacité et la sécurité.[74] Heureusement, plusieurs initiatives conformes aux principes du développement durable non seulement facilitent la réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais aussi augmentent la tolérance aux impacts potentiels du changement climatique. Il peut s'agir, par exemple, d'adopter telle ou telle technologie nouvelle ou pratique de gestion exemplaire, ou encore de modifier la distribution des déplacements de manière à réduire l'exposition au risque. Sur le plan de la mobilité des personnes, il existe des moyens prometteurs, comme encourager les employés du secteur de l'information à travailler à la maison (télétravail), modifier les modes d'occupation de l'espace pour raccourcir les distances entre le lieu d'habitation et le lieu de travail et augmenter l'accessibilité aux biens et services, et offrir des incitatifs financiers à l'utilisation de modes de transport intrinsèquement plus sûrs et plus fiables, même dans la perspective d'un changement climatique.

Lacunes sur le plan des connaissances et besoins en matière de recherche

Dans la pléthore des études réalisées depuis une vingtaine d'années au sujet des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation, les chercheurs se sont relativement peu intéressés aux infrastructures et aux ouvrages construits, notamment dans le domaine du transport. Ainsi, le troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, publié récemment,[75] consacre moins d'une page aux vulnérabilités, aux impacts et aux mesures d'adaptation dans le domaine du transport. La majeure partie des études relatives au changement climatique dans ce secteur ont porté sur les questions d'atténuation des impacts. Cela n'est guère étonnant, étant donné que le transport est responsable d'un fort pourcentage des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de la planète.[76, 77]

Aussi nos connaissances sur les impacts potentiels du changement climatique et les stratégies d'adaptation dans le secteur du transport présentent-elles de nombreuses lacunes. Compte tenu du peu de travail réalisé jusqu'à maintenant sur ce sujet, de plus amples études s'imposent sur presque tous les aspects de la question.

Voici une liste des priorités recensées dans les références citées dans le présent chapitre :

- porter une plus grande attention aux impacts et à l'adaptation dans le secteur du transport routier dans le sud du Canada;
- accroître la recherche sur la vulnérabilité des routes canadiennes aux variations des températures, notamment les cycles de gel-dégel et les températures extrêmes;
- évaluer l'importance des événements météorologiques extrêmes et de la variabilité climatique pour la conception, le coût, la mobilité et la sûreté des réseaux de transport canadiens;
- évaluer de manière plus approfondie les mesures d'adaptation actuelles et la possibilité qu'elles offrent de reporter des améliorations aux infrastructures, de réduire les coûts d'exploitation et de maintenir, voire améliorer, la mobilité et la sécurité;
- réaliser des études exhaustives sur des problèmes importants qui se posent dans le domaine du transport maritime et de la navigation, notamment la question de l'ouverture du passage du Nord-Ouest [illegible]le de l'abaissement des niveaux d'eau dans le réseau des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent;
- analyser comment les variations des facteurs non climatiques, comme la technologie, l'occupation du territoire et l'économie, influent sur la vulnérabilité au climat et au changement climatique;
- réaliser des études où la question de l'atténuation (réduction des émissions de gaz à effet de serre) est intégrée à celles des impacts du changement climatique et de l'adaptation.

Toutes ces recherches doivent être effectuées en étroite collaboration avec les parties intéressées, qui sauront à leur tour faire reconnaître les questions climatiques et susciter leur prise en compte dans la formulation des lois, des normes et des politiques. Il est important de réfléchir aux mécanismes institutionnels les plus susceptibles de faciliter l'adaptation dans toutes les régions du Canada.

Conclusion

Le Canada est doté d'un réseau de transport imposant dont la planification, la construction et l'utilisation s'échelonnent sur plusieurs décennies. Il est donc nécessaire de voir comment l'évolution des conditions économiques, sociales et physiques sous l'effet du changement climatique et d'autres facteurs va se manifester dans le secteur du transport, et de déterminer les stratégies d'adaptation les plus susceptibles d'augmenter la tolérance du réseau. D'un point de vue physique, il est probable que le changement climatique créera des défis et des possibilités dans le secteur du transport au Canada.

Jusqu'à la fin des années 1980, presque rien n'avait été fait, ni au Canada ni ailleurs dans le monde, pour comprendre les effets du changement climatique dans le secteur des transports. Depuis, des progrès importants ont été accomplis. Les chercheurs ont entrepris de déterminer et de caractériser les impacts potentiels du changement climatique sur les éléments les plus vulnérables du réseau de transport, notamment les chemins de glace dans le Nord, le transport maritime sur les Grands Lacs, l'infrastructure côtière menacée par l'élévation du niveau marin, et les structures reposant sur le pergélisol.

La sensibilité climatique des paysages nordiques explique en partie pourquoi on s'est davantage intéressé jusqu'à maintenant aux infrastructures et aux activités du Nord canadien, et ce, en dépit du fait que la très grande majorité des mouvements intérieurs et transfrontaliers de marchandises et plus de 90 p. 100 des déplacements de passagers au Canada sont concentrés dans le sud du pays. D'après les quelques études qui ont été faites, il semble qu'un adoucissement ou un raccourcissement des hivers pourraient se traduire par des économies que l'état actuel des connaissances ne nous permet pas de quantifier. De plus, la hausse des températures et les variations du régime de précipitations, notamment de la fréquence des événements climatiques extrêmes, pourraient amplifier d'autres anomalies météorologiques ou accentuer d'autres inefficacités. Cela dit, il semble pour l'instant que la gestion des impacts du changement climatique dans le secteur du transport sera possible, dans la mesure où les Canadiens sauront se montrer proactifs et tenir compte du changement climatique dans leurs investissements et leurs décisions.

Références

Les références en caractères gras désignent des rapports portant sur des travaux financés dans le cadre du Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada.

(1) Transports Canada. *Que faisons-nous?*, 2002. Disponible en ligne à http://www.tc.gc.ca/sujet/quefaisonsnous.htm (accès en janvier 2003).

(2) Transports Canada. *Les transports au Canada 2001*, 2001a. Rapport annuel. Disponible en ligne à http://www.tc.gc.ca/pol/fr/anre/rapport_annuel_sur_les_transport.htm (accès en janvier 2003).

(3) Transports Canada. *Les transports au Canada 2000*, 2000. Rapport annuel. Disponible en ligne à http://www.tc.gc.ca/pol/fr/anre/rapport_annuel_sur_les_transport.htm (accès en janvier 2003).

(4) Transports Canada. *Stratégie de développement durable 2001-2003*, 2001b. Disponible en ligne à www.tc.gc.ca/envaffairs/french/StrategieDD/2001fr.htm (accès en janvier 2003).

(5) Richardson, S. *Évaluation du réseau canadien de routes et d'autoroutes*, Transports Canada, TP 12794F, 1996, 17 p.

(6) Forum économique mondial. « The Global competitiveness report 2001–2002, World Economic Forum 2001 », 2001. Sondage d'opinion produit en collaboration avec le Center for International Development at Harvard University et l'Institute for Strategy and Competitiveness, Harvard Business School, CD-ROM.

(7) Environnement Canada. *Le CO_2 et le climat : bulletin, Automne 2002*, Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Évaluation scientifique et intégration, 2002, p. 2.

(8) McCulloch, M.M., D.L. Forbes et R.W. Shaw. *Coastal impacts of climate change and sea-level rise on Prince Edward Island*, Commission géologique du Canada, dossier public 4261, 2002, 62 p. et 11 documents auxiliaires.

(9) Presse canadienne. « Carnage alley needs photo radar », *Kitchener-Waterloo Record*, 30 juin 2000, p. A3.

(10) Ross, J. « Fast-spreading forest fires race through northwestern Ontario », *The Globe & Mail*, 5 mai 1999, p. A1.

(11) Kerry, M., G. Kelk, D. Etkin, I. Burton et S. Kalhok. « Glazed over: Canada copes with the ice storm of 1998 », *Environment*, vol. 41, 1999, pp. 6-11, 28-33.

(12) Paul, A. et C. Sanders. « Melting ice roads pose Manitoba supplies emergency », *The Edmonton Journal*, 14 janvier 2002, p. A5.

(13) Bureau de la sécurité des transports du Canada. Rapport numéro A97H0011, 1997. Disponible en ligne à http://www.bst.gc.ca/fr/reports/air/1997/a97h0011/a97h0011.asp (accès en mars 2003).

(14) Pan Pacific Communications Inc. *The impact of storm 96 on environmental, social and economic conditions*, 1997. Rapport rédigé pour Environnement Canada par Pan Pacific Communications Inc., Vancouver.

(15) Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Da, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.). *Climate change 2001: the scientific basis*, 2001. Contribution du Groupe de travail I au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Disponible en ligne à http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm (accès en juillet 2002).

(16) Mills, B. et J. Andrey. « Climate change and transportation: potential interactions and impacts », dans *The potential impacts of climate change on transportation* (sous presse). Compte rendu d'un atelier tenu les 1er et 2 octobre 2002 au Brookings Institution, Washington (D.C.), United States Department of Transportation, Center for Climate Change and Environmental Forecasting.

(17) André, J. et A. Snow. « Étude pancanadienne sur l'adaptation à la variabilité et au changement climatique – Secteur du transport », dans *Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique : questions sectorielles*, volume VII, chapitre 8, Environnement Canada, 1998, pp. 441-485. Disponible en ligne à http://www.ec.gc.ca/climate/ccs/sectoral_papers.htm (accès en décembre 2002).

(18) United States Department of Transportation. *The potential impacts of climate change on transportation* (sous presse). Compte rendu d'un atelier tenu les 1er et 2 octobre 2002 au Brookings Institution, Washington (D.C.), United States Department of Transportation, Center for Climate Change and Environmental Forecasting.

(19) Queensland Transport. *The effect of climate change on transport infrastructure in regional Queensland*, (sans date). Rapport de synthèse rédigé pour Queensland Transport par CSIRO Atmospheric Research et PPK Infrastructure & Environment Pty. Ltd., 18 p.

(20) IBI Group. *Les répercussions du changement climatique à long terme sur les transports au Canada*, Downsview (Ontario), Environnement Canada, Centre climatologique canadien, SCC 90-02, 1990.

(21) Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo. « Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, 2000, pp. 395-429.

(22) Andrey, J., B. Mills, B. Jones, R. Haas et W. Hamlin. *Adaptation to climate change in the Canadian transportation sector*, 1999. Rapport présenté à Ressources naturelles Canada, Bureau de liaison Adaptation, Ottawa.

(23) Nix, F.P., M. Boucher et B. Hutchinson. « Le coût du réseau routier », dans *Directions : le rapport final de la Commission royale sur le transport des voyageurs au Canada*, vol. 4, 1992, p. 1053.

(24) Haas, R., N. Li et S. Tighe. *Roughness trends at C-SHRP LTPP sites*, Ottawa (Ontario), Association des transports du Canada, rapport final sur le projet, 1999, 97 p.

(25) Bellisario, L., H. Auld, B. Bonsal, M. Geast, W. Gough, J. Klaassen, J. Lacroix, A. Maarouf, N. Mulyar, K. Smoyer-Tomic et L. Vincent. *Assessment of urban climate and weather extremes in Canada — temperature analyses*, 2001. Rapport final présenté à Protection civile Canada, Ottawa.

(26) Associated Press. « Dozens hurt in U.S. train derailment », *Toronto Star*, 30 juillet 2002.

(27) Smith, S.L., M.M. Burgess et J.A. Heginbottom. « Permafrost in Canada, a challenge to northern development », dans *A Synthesis of Geological Hazards in Canada*, G.R. Brooks (éd.), Commission géologique du Canada, bulletin 548, 2001, pp. 241-264.

(28) Bruce, J., I. Burton, H. Martin, B. Mills et L. Mortsch. *Water sector: vulnerability and adaptation to climate change, final report*, Ottawa (Ontario), Global Change Strategies International Inc. et Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada, 2000, 141 p.

(29) Alberta Department of Transportation and Utilities. *1997–1998 Annual Report*, Alberta Department of Transportation and Utilities, 1998.

(30) Evans, S.G. *Climate change and geomorphological hazards in the Canadian cordillera: the anatomy of impacts and some tools for adaptation, scientific report 1999–2000 — summary of activities and results*, 2002. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada.

(31) Andrey, J. et B. Mills. « Climate change and the Canadian transportation system: vulnerabilities and adaptations », dans *Weather and Road Transportation*, J. Andrey et C.K. Knapper (éd.), Université de Waterloo, Department of Geography Publication Series, Monograph 55 (sous presse).

(32) Evans, S.G. et J.J. Clague. « The impacts of climate change on catastrophic geomorphic processes in the mountains of British Columbia, Yukon and Alberta », dans *Responding to Global Climate Change in British Columbia and Yukon*, volume 1, *Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation*, E. Taylor et B. Taylor (éd.), British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks et Environnement Canada, Vancouver (Colombie-Britannique), 1997, pp. 7-1 et 7-16.

(33) Ressources naturelles Canada. *Glissements de terrain et avalanches au Canada*, Commission géologique du Canada, Division de la science des terrains, 2002. Disponible en ligne à http://sts.gsc.nrcan.gc.ca/clf/landslides_fr.asp (accès en janvier 2003).

(34) Brennan, D., U. Akpan, I. Konuk et A. Zebrowski. *Random field modelling of rainfall induced soil movement*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 85 p.

(35) Kharin, V.V. et F.W. Zwiers. « Changes in extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM », *Journal of Climate*, vol. 13, 2000, pp. 3760-3788.

(36) Bruce, J.P., I. Burton, I.D.M. Egener et J. Thelen. *Municipal risks assessment: investigation of the potential impacts and adaptation measures envisioned as a result of climate change*, 1999. Rapport rédigé par Global Change Strategies International Inc., Ottawa pour la Table des municipalités, Processus national sur le changement climatique.

(37) Smith, J., B. Lavender, H. Auld, D. Broadhurst et T. Bullock. « Adapting to climate variability and change in Ontario », dans *Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation*, volume IV, Environnement Canada, 1998a, 117 p.

(38) Auld, H. « Adaptation to the impacts of atmospheric change on the economy and infrastructure of the Toronto-Niagara region », dans *Atmospheric Change in the Toronto-Niagara Region: Towards an Integrated Understanding of Science, Impacts and Responses* (compte rendu d'un atelier tenu les 27 et 28 mai 1998 à l'Université de Toronto), B.N. Mills et L. Craig (éd.), Environmental Adaptation Research Group, Waterloo (Ontario), 1999, pp. 103-121.

(39) Jones, B. « The cost of safety and mobility in Canada: winter road maintenance », dans *Weather and Road Transportation*, J. Andrey et C.K. Knapper (éd.), Université de Waterloo, Department of Geography Publication Series, Monograph 55.

(40) Morin, D. et M. Perchanok. « Road salt use in Canada », dans *Weather and Road Transportation*, J. Andrey et C.K. Knapper (éd.), Université de Waterloo, Department of Geography Publication Series, Monograph 55 (sous presse).

(41) Cornford, D. et J.E. Thornes. « A comparison between spatial winter indices and expenditures on winter road maintenance in Scotland », *International Journal of Climatology*, vol. 16, 1996, pp. 339-357.

(42) Andrey, J., J. Li et B. Mills. *A winter index for benchmarking winter road maintenance operations on Ontario highways*. Compte rendu du 80e colloque annuel du Transportation Research Board tenu du 7 au 11 janvier 2001, Washington (D.C.), prétirage CD-ROM.

(43) Mills, B., J. Suggett et L. Wenger. « You and who's army: a review of the January 1999 Toronto snow emergency », dans *Weather and Road Transportation*, J. Andrey et C.K. Knapper (éd.), Université de Waterloo, Department of Geography Publication Series, Monograph 55 (sous presse).

(44) Thornes, J.E. « Transport systems », dans *Applied Climatology: Principles and Practice*, R.D. Thompson et A. Perry (éd.), Routledge (New York), 1997, p. 202.

(45) Maxwell, B. « Responding to global climate change in Canada's Arctic », *Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation, Volume II*, Environnement Canada, 1997, 82 p.

(46) Falkingham, J. « The ice evidence », *Northern Perspectives*, vol. 27, nº 2, 2002, p. 2.

(47) Brigham, L. « The polar highway », *Northern Perspectives*, vol. 27, nº 2, 2002, p. 5.

(48) Huebert, R. « On guard for thee? Preparing for a navigable NW Passage? », *Northern Perspectives*, vol. 27, nº 2, 2002, pp. 4-5.

(49) Jackson, D. « The effect of global climate change on Canadian Coast Guard operations in the Canadian Arctic », dans *A common approach to collaborative technology research for Arctic development*, Bruxelles, Belgique, du 24 au 27 octobre 2001.

(50) Shaw, J., R.B. Taylor, D.L. Forbes, H.H. Ruz et S. Solomon. *Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise*, Commission géologique du Canada, bulletin 505, 1998, 79 p.

(51) Wartman, D. « Climate change impacts on Atlantic Canada », dans *Actes de la Conférence des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada — Climate Change: New Directions for the Northeast*, Fredericton (Nouveau-Brunswick), 30 mars 2001.

(52) Hamlin, W. *Impacts of climate change on aviation in Canada*, Université de Waterloo, Waterloo (Ontario), 1999. Ébauche.

(53) Pisano, P. et L.C. Goodwin. *Surface transportation weather applications*, 2002. Rapport rédigé par le Federal Highway Administration Office of Transportation Operations en collaboration avec Mitretek Systems Inc. Disponible en ligne à http://209.68.41.108/itslib/AB02H261.pdf (accès en décembre 2002).

(54) Mortsch, L.D., H. Hengeveld, M. Lister, B. Lofgren, F. Quinn, M. Slivitzky et L. Wenger. « Climate change impacts on the hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence system », *Revue canadienne des ressources en eau*, vol. 25, nº 2, 2000a, pp. 153-179.

(55) National Assessment Synthesis Team. *Climate change impacts on the United States: the potential consequences of climate variability and change*, 2001. Rapport rédigé pour le United States Global Change Research Program, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 620 p.

(56) Bergeron, L. *Les niveau extrêmes d'eau dans le Saint-Laurent : ses conséquences économiques et l'influence des facteurs climatiques*, 1995. Rapport présenté à Environnement Canada, Services scientifiques, Direction de l'environnement atmosphérique, Région du Québec, 70 p.

(57) Millerd, F. « The impact of water level changes on commercial navigation in the Great Lakes and St. Lawrence River », *Revue canadienne des sciences régionales*, vol. 19, nº 1, 1996, pp. 119-130.

(58) Lindeberg, J.D. et G.M. Albercook. « Climate change and Great Lakes shipping/boating », dans *Preparing for a Changing Climate — Potential Consequences of Climate Variability and Change, Great Lakes*, P. Sousounis et J.M. Bisanz (éd.), 2000. Rapport rédigé pour le United States Global Change Research Program, pp. 39-42.

(59) Corporation de gestion de la Voie maritime du Saint-Laurent et Saint Lawrence Seaway Development Corporation. *La saison de navigation 2001 de la Voie maritime du Saint-Laurent s'achève au terme d'une année difficile*, 2001. Disponible en ligne à http://www.grandslacs-voiemaritime.com/fr/news/pr20011227.html (accès en janvier 2003).

(60) Richardson, B. « Version IX – this is the week that was », *United Rail Passenger Alliance*, bulletin intitulé *A Ongoing Saga of Passenger Rail*, 6 juillet 2001. Disponible en ligne à www.unitedrail.org/news/twtwtw0009.htm (accès en janvier 2003).

(61) Titus, J.G. « The costs of climate change to the United States », dans *Global Climate Change: Implications, Challenges and Mitigation Measures*, S.K. Majumdar, L.S. Kalkstein, B. Yarnal, E.W. Miller et L.M. Rosenfeld (éd.), Philadelphie, 1992, pp. 385-409.

(62) Bureau de la sécurité des transports du Canada. *Statistiques : information sur la sécurité et les incidents dans le transport aérien, maritime et ferroviaire*, Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2002. Disponible en ligne à http://www.tsb.gc.ca/fr/stats/index.asp (accès en janvier 2003).

(63) Andrey, J., B. Mills, M. Leahy et J. Suggett. « Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities », *Natural Hazards*, vol. 28, nº 2, 2003, pp. 319-343.

(64) **Ouimet, M., E. Blais, G. Vigeant et J. Milton. *Les impacts de la température sur le crime, les accidents de la route et le suicide*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 91 p.**

(65) Rothman, D.S., D. Demeritt, Q. Chiotti et I. Burton. « Évaluation des coûts liés au changement climatique : dimensions économiques des mesures d'adaptation et des impacts résiduels au Canada », dans *Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique : questions intersectorielles*, vol. VIII, N. Mayer et W. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 1-33.

(66) Smith, J.B., R.S.J. Tol, S. Ragland et S. Fankhauser. *Proactive adaptation to climate change: three case studies on infrastructure investments*, Amsterdam, Pays-Bas, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, IVM-D98/03, 1998b, 14 p.

(67) Touchdown Enterprises Ltd. *Portable helipads*, 2002. Disponible en ligne à http://www.vquest.com/touchdown/ (accès en janvier 2003).

(68) **Wright, J.F., C. Duchesne, M. Nixon et M. Côté. *Ground thermal modeling in support of terrain evaluation and route selection in the Mackenzie River valley*, 2002. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 53 p.**

(69) CargoLifter. *CargoLifter sells first CL 75 AC*, 2002. Communiqué disponible en ligne à http://www.cargolifter.de/C1256B02002FDB08/html/b92ef5a679966e19c1256b7e002edecb.html (accès en décembre 2002).

(70) Schwartz, R. *A GIS approach to modelling potential climate change impacts on the Lake Huron shoreline*, thèse de maîtrise en sciences environnementales, Université de Waterloo, Waterloo (Ontario), 2001.

(71) Mortsch, L.D., M. Lister, B. Lofgren, F. Quinn et L. Wenger. *Climate change impacts on hydrology, water resources management and the people of the Great Lakes–St. Lawrence system: a technical survey*, 2000b. Rapport rédigé pour la International Joint Commission Reference on Consumption, Diversions and Removals of Great Lakes Water.

(72) Ministère des Transports de l'Ontario. *Gestion du sel de voirie*, 2002. Disponible en ligne à http://www.mto.gov.on.ca/french/engineering/roadsalt.htm (accès en janvier 2003).

(73) Réseau Grands Lacs/Voie maritime du Saint-Laurent. *Projet SIA*, 2002. Disponible en ligne à http://www.greatlakes-seaway.com/fr/navigation/ais_project.html (accès en janvier 2003).

(74) Better Environmentally Sound Transportation. *History and Vision*, 2002. Disponible en ligne à http://www.best.bc.ca/aboutBest/historyAndMission.html (accès en janvier 2003).

(75) McCarthy, J.J., F. Osvaldo, N. Canziani, A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.). *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*, 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press.

(76) United States Department of Transportation. *Transportation and global climate change: a review and analysis of the literature*, 1998. United States Department of Transportation, Federal Highway Administration.

(77) Secrétariat national des changements climatiques. *Les transports et le changement climatique : options à envisager*, 1999. Processus national sur le changement climatique. Disponible en ligne à http://www.nccp.ca/html_f/tables/pdf/options/Transport_OR-nov1999-fr.pdf (accès en janvier 2003).

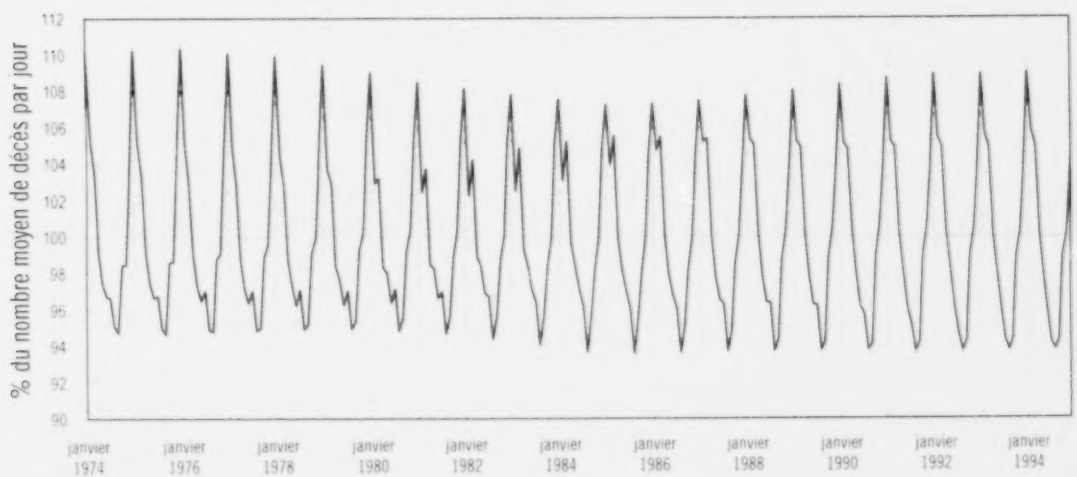
Santé et bien-être humains

« Le souci de la santé humaine est l'une des meilleures raisons d'étudier les effets du changement climatique planétaire. Les incidences combinées du changement climatique sur le milieu physique, les écosystèmes, l'économie et la société se reflètent dans la santé... »[1]

La santé, qui exige le bien-être physique, mental et social, est un facteur déterminant dans la qualité de vie. C'est pourquoi la santé et les services de santé sont capitaux pour les Canadiens. Le secteur des soins de santé et des services sociaux emploie plus de 1,5 million de Canadiens, et les dépenses pour les services de santé dépassent les 102 milliards de dollars par année,[2] ce qui représente environ 9,3 p. 100 de la valeur totale des biens et services produits au Canada (le produit intérieur brut), soit, en moyenne, 3 300 $ par année par personne.

On peut dire que la forte variabilité saisonnière dans l'incidence des maladies infectieuses[3, 4] et le caractère récurrent des tendances saisonnières de la mortalité (*voir* la figure 1 et la référence 5) illustrent de manière fondamentale la relation qui existe entre la santé et le climat au Canada. Le nombre mensuel de décès parvient généralement à un minimum en août, puis entame une remontée qui dure jusqu'en janvier, moment où un maximum est atteint; après quoi, il redescend pendant le printemps et l'été. Nombre des décès qui surviennent en hiver sont attribuables à des pneumonies,[5] ce qui donne à penser que les variations saisonnières des conditions climatiques et météorologiques exercent un effet sur le nombre de cas d'infections respiratoires. De façon semblable, le nombre de décès dus aux crises cardiaques et aux accidents vasculaires cérébraux varie beaucoup d'une saison à l'autre; il atteint des sommets en été et en hiver.[5]

FIGURE 1 : Fluctuations saisonnières des décès au Canada, 1974-1994 (adapté du site Web de Statistique Canada, à l'adresse http://www.statcan.ca/english/indepth/82-003/archive/1997/hrar1997009001s0a05.pdf)

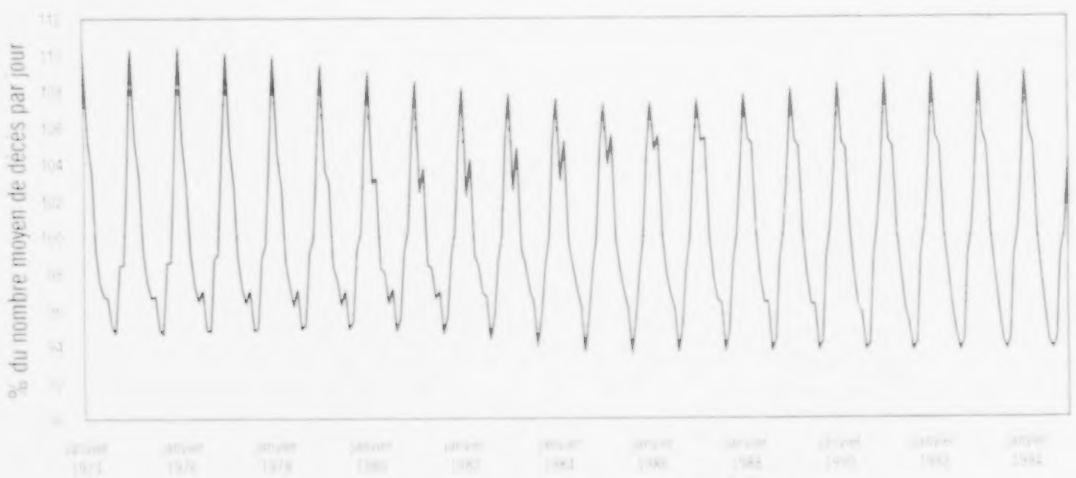


« Le souci de la santé humaine est l'une des meilleures raisons d'étudier les effets du changement climatique planétaire. Les incidences combinées du changement climatique sur le milieu physique, les écosystèmes, l'économie et la société se reflètent dans la santé... »[1]

La santé, qui exige le bien-être physique, mental et social, est un facteur déterminant dans la qualité de vie. C'est pourquoi la santé et les services de santé sont capitaux pour les Canadiens. Le secteur des soins de santé et des services sociaux emploie plus de 1,5 million de Canadiens, et les dépenses pour les services de santé dépassent les 102 milliards de dollars par année,[2] ce qui représente environ 9,3 p. 100 de la valeur totale des biens et services produits au Canada (le produit intérieur brut), soit, en moyenne, 3 300 $ par année par personne.

On peut dire que la forte variabilité saisonnière dans l'incidence des maladies infectieuses[3,4] et le caractère récurrent des tendances saisonnières de la mortalité (*voir* la figure 1 et la référence 5) illustrent de manière fondamentale la relation qui existe entre la santé et le climat au Canada. Le nombre mensuel de décès parvient généralement à un minimum en août, puis entame une remontée qui dure jusqu'en janvier, moment où un maximum est atteint; après quoi, il redescend pendant le printemps et l'été. Nombre des décès qui surviennent en hiver sont attribuables à des pneumonies,[5] ce qui donne à penser que les variations saisonnières des conditions climatiques et météorologiques exercent un effet sur le nombre de cas d'infections respiratoires. De façon semblable, le nombre de décès dus aux crises cardiaques et aux accidents vasculaires cérébraux varie beaucoup d'une saison à l'autre; il atteint des sommets en été et en hiver.[6]

FIGURE 1 : Fluctuations saisonnières des décès au Canada, 1974-1994 (adapté du site Web de Statistique Canada, à l'adresse http://www.statcan.ca/english/indepth/82-003/archive/1997/hrar1997009001s0a05.pdf)



On peut voir une autre manifestation du lien étroit entre le climat et la santé humaine dans les incidences des phénomènes climatiques extrêmes et des catastrophes météorologiques. Les inondations, la sécheresse, les orages violents et autres fléaux naturels d'origine climatique peuvent détériorer la santé et le bien-être social en provoquant une augmentation des risques de blessures, de maladies, de troubles dus au stress et de décès. Ces dernières années, les conséquences des inondations survenues en 1996 dans la région du Saguenay, au Québec, du débordement, en 1997, de la rivière Rouge, au Manitoba, et de la tempête de verglas de 1998 dans l'est de l'Ontario, le sud du Québec et certaines régions des Maritimes, ont illustré cette réalité de manière bien fâcheuse.[10; 7; 8; 9]

Les tendances en ce qui concerne les maladies et les décès attribuables à la pollution de l'air, aux phénomènes météorologiques extrêmes, aux allergies, aux affections respiratoires, aux maladies d'origine hydrique ou alimentaire et aux maladies transmises par des vecteurs témoignent toutes de la corrélation entre les facteurs climatiques et météorologiques et la santé et le bien-être.[10; 11; 12] C'est pourquoi on craint qu'un changement climatique de l'ampleur prévue par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (c'est-à-dire une hausse de 1,4 à 5,8 °C de la température moyenne à la surface de la Terre),[13] au cours du siècle actuel, n'ait des conséquences significatives dans le secteur de la santé et des soins de santé au Canada. En fait, tant les modèles climatiques[14] que les évaluations de la vulnérabilité de l'environnement et des ressources selon les régions[15] et les anomalies climatiques qui se sont produites ces dernières années un peu partout au Canada indiquent que le changement du climat pourrait compliquer le maintien de la santé et du bien-être des Canadiens dans le futur.

On distingue les effets potentiels du changement climatique qui sont directs (p. ex., la variation de la morbidité et de la mortalité attribuables à la température) de ceux qui sont indirects (p. ex., la modification de l'aire de répartition des maladies transmises par les rongeurs et d'autres vecteurs).[16] Les incidences sur les groupes les plus vulnérables de la population, dont les personnes âgées, les personnes ayant un handicap physique, les démunis et les enfants, sont particulièrement préoccupantes. On considère que les résidants ruraux, qui peuvent avoir à se déplacer sur de plus longues distances que les citadins pour obtenir des soins, de même que les groupes vivant de la chasse et de la pêche (p. ex., certaines collectivités autochtones), pourraient être davantage touchés. Dans l'ensemble, les effets sur la santé seront fonction de la nature des changements climatiques, de l'exposition à ces changements et de notre capacité à limiter cette exposition. Bien que dans les écrits traitant du changement climatique il soit surtout question des incidences néfastes de ce phénomène sur la santé humaine, on peut aussi s'attendre à certains effets positifs, par exemple une baisse des maladies et des décès causés par les froids intenses[17]. Certaines des questions fondamentales en ce qui concerne la santé et le changement climatique au Canada sont présentées au tableau 1.

Bien que les Canadiens soient généralement réputés bien adaptés aux conditions moyennes, les phénomènes climatiques extrêmes, dont certains dépassent nos actuelles capacités de réaction, continuent de les mettre à l'épreuve. Certains s'inquiètent que le changement climatique puisse, dans le futur, rendre de tels épisodes plus fréquents et réduire encore notre capacité à y faire face. En réalité, toute conséquence environnementale ou socio-économique du changement climatique exercera un stress supplémentaire sur le réseau de la santé, lequel est d'ores et déjà aux prises avec de nombreuses difficultés. Des stratégies visant à réduire les incidences néfastes du changement climatique sur le secteur canadien de la santé sont donc indispensables. Afin de décider quelles avenues sont les plus appropriées en matière d'adaptation, il faudra évaluer la vulnérabilité et la capacité d'adaptation selon les régions, les collectivités et les groupes de la population.

Le présent chapitre donne un aperçu des effets potentiels graves du changement climatique sur la santé et le bien-être humains, et souligne certaines actions déjà entreprises pour améliorer la compréhension des incidences de ce phénomène sur les Canadiens et rassembler des données en vue de l'élaboration de stratégies d'adaptation.

TABLEAU 1 : Effets potentiels du changement et de la variabilité climatiques sur la santé au Canada[18]

Questions de santé	Exemples de problèmes sanitaires
Morbidité et mortalité relatives à la température	• Affections causées par le froid ou la chaleur • Affections respiratoires et cardiovasculaires • Augmentation des risques pour la santé au travail
Effets des phénomènes météorologiques extrêmes sur la santé	• Détérioration du réseau de santé publique • Blessures et maladies • Stress social et mental causé par les catastrophes • Risques pour la santé au travail • Déplacement de populations
Effets sur la santé relatifs à la pollution de l'air	• Modification de l'exposition aux polluants et aux allergènes présents dans l'air intérieur et extérieur • Asthme et autres affections respiratoires • Crises cardiaques, accidents vasculaires cérébraux et autres troubles cardiovasculaires • Cancer
Effets de la contamination de l'eau et des aliments sur la santé	• Maladies entériques et intoxications provoquées par la présence de contaminants chimiques et biologiques
Maladies transmises par des vecteurs et zoonoses	• Modification de la structure de la morbidité à cause du transport de bactéries, de virus et d'autres agents pathogènes par les moustiques, les tiques et d'autres vecteurs
Effets sur la santé de l'exposition au rayonnement ultraviolet	• Lésions et cancer de la peau • Cataractes • Troubles immunitaires
Groupes vulnérables des collectivités rurales et urbaines	• Personnes âgées • Enfants • Personnes souffrant de maladies chroniques • Personnes à faible revenu et sans abri • Résidants du Nord • Personnes handicapées • Personnes vivant de chasse et de cueillette
Répercussions socio-économiques sur la santé et le bien-être des collectivités	• Perte de revenu et de productivité • Perturbation de l'ordre social • Diminution de la qualité de vie • Augmentation du coût des soins de santé • Effets sur la santé des techniques visant l'atténuation • Manque de capacités institutionnelles pour faire face aux désastres

Travaux antérieurs

« L'évolution du climat aura des impacts généralisés et généralement néfastes pour la santé humaine. »[19]

Duncan *et al.*,[17] dans leur résumé de recherche intégré à l'Étude pancanadienne, ont relevé un éventail d'effets du changement climatique sur la santé et ont analysé le rôle des stratégies d'adaptation envisageables. Parmi les principales préoccupations exposées, il y avait les effets du changement climatique sur la mortalité causée par le froid ou la chaleur, la possible propagation vers le nord des maladies transmises par des vecteurs, l'augmentation des cas de maladies d'origine alimentaire, la variation de la quantité et de la qualité des ressources en eau et les défaillances du réseau de santé publique.

On a examiné avec une attention toute particulière l'effet de températures élevées alliées à une mauvaise qualité de l'air dans les grandes villes du sud du Canada, et on en a conclu que, dans les agglomérations comme Toronto, Ottawa et Montréal, un réchauffement de l'ampleur prévue pendant les quelques décennies à venir pourrait entraîner une hausse significative du nombre de décès pendant les grandes vagues de chaleur, surtout parmi les personnes âgées et les personnes ayant un handicap physique.

On soulignait également, dans l'Étude pancanadienne, la possibilité que la transmission des maladies et la contamination par les bactéries s'accroissent à cause du changement climatique. À titre d'exemple, les fortes précipitations pourraient entraîner une multiplication des épidémies de maladies infectieuses telles que la cryptosporidiose et la lambliase (giardiase). L'élévation de la température, d'une manière générale, serait favorable à la survie de la bactérie du choléra et à la prolifération de certaines algues qui libèrent des toxines accumulables dans les tissus des poissons, des mollusques et des crustacés. De plus, le réchauffement du milieu engendré par le changement climatique pourrait accroître la prévalence des maladies d'origine alimentaire causées par les entérobactéries et les entérovirus, favoriser les percées de moustiques et de tiques vecteurs de maladies (p. ex., la dengue, la fièvre jaune et la malaria) vers le nord, et faire augmenter le nombre de rongeurs porteurs de pathogènes et la fréquence de leurs contacts avec l'espèce humaine.

Duncan *et al.*[17] ont également examiné la nécessité d'appliquer, à court et à long terme, des mesures d'adaptation qui permettent de réduire les effets du changement climatique sur la santé. Entre autres, on pourrait envisager l'établissement de systèmes de veille et d'avertissement météorologiques, l'aide à l'acclimatation aux chaleurs extrêmes et l'accroissement de la sensibilisation et de l'information du public. Les auteurs ont aussi insisté sur le fait qu'il est essentiel de poursuivre les recherches, notamment les études interdisciplinaires.

Impacts sur la santé

« Le changement climatique à l'échelle planétaire perturberait les systèmes physiques et les écosystèmes de la Terre, et ces désordres représenteraient des risques directs et indirects pour la santé humaine. »[20]

Les conditions météorologiques et les phénomènes extrêmes influent grandement sur la santé et le bien-être humains. Un changement du climat modifierait les taux de mortalité et de blessure, le nombre de cas de maladies et la santé mentale. Ces effets auraient pour origine la variation de facteurs tels que les températures extrêmes, la baisse de la qualité de l'air, les maladies d'origine hydrique et les maladies transmises par des vecteurs, ainsi que les phénomènes météorologiques extrêmes; ils fluctueraient selon les régions du pays, le problème dominant n'étant pas le même partout. L'encadré 1 présente certaines des préoccupations centrales en matière de santé dans les Prairies.

ENCADRÉ 1 : Questions de santé relatives au climat dans les Prairies [21, 22, 23]

Afin de compiler de l'information sur les effets potentiels du changement climatique sur la santé humaine et d'identifier les domaines de recherche prioritaires, des chercheurs des Prairies ont organisé des tables rondes, communiqué par courrier électronique et procédé à un examen de la littérature pertinente.

Ces travaux ont révélé que parmi les questions centrales pour les Prairies figurent les suivantes :

- répercussions de la sécheresse sur le degré de stress au sein des collectivités agricoles;
- conséquences des feux de forêt sur la qualité de l'air;
- augmentation du risque de maladies d'origine alimentaire;
- effets des vagues de chaleur sur les populations vulnérables;
- contamination des eaux de surface à cause d'épisodes de fortes pluies;
- effets des inondations et autres catastrophes sur la sécurité physique et la santé mentale.

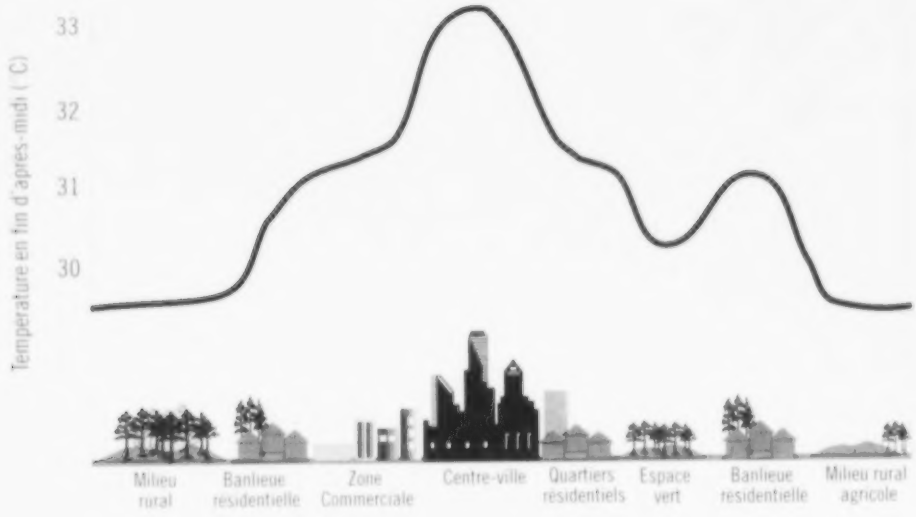
Photo : Gracieuseté de l'Administration du rétablissement agricole des Prairies.

Stress liés à la température

D'après les projections, le changement climatique produira des hivers plus doux et des étés plus chauds que ceux que nous connaissons. La population sera en grande partie capable de s'adapter aux modifications progressives des températures moyennes grâce au processus normal d'acclimatation. Cependant, on s'attend à ce que l'élévation de la température de l'air entraîne un accroissement de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur[16]. Ces épisodes de chaleur extrême peuvent demander une adaptation physiologique dépassant les capacités de certains groupes vulnérables, par exemple les enfants en bas âge, les personnes âgées et les gens dont la santé est déjà fragile. Les vagues de chaleur ont, en général, des effets plus graves dans les villes que dans les banlieues ou les régions rurales, probablement à cause du phénomène des « îlots thermiques urbains » (*voir* la figure 2) et du fait que le degré de pollution atmosphérique est supérieur dans les villes[16]. Certaines études laissent penser qu'une hausse du nombre de jours d'extrême chaleur (température dépassant 30 °C) au cours du présent siècle aurait pour résultat de faire grimper la mortalité attribuable à la chaleur dans certains centres urbains des régions méridionales du Canada[24, 25]. Néanmoins, il faut mentionner que l'acclimatation saisonnière ainsi que la mise en oeuvre de mesures d'adaptation appropriées, notamment l'accès à des lieux climatisés et aux soins de santé nécessaires, pourraient entraîner une réduction du nombre de décès dus à cette cause[20].

Les recherches révèlent que le moment d'apparition et les caractéristiques des vagues de chaleur peuvent influer sur la gravité de leurs effets sur la santé. À titre d'exemple, les canicules qui surviennent au début de l'été font habituellement plus de morts que celles se produisant plus tard dans la saison parce que, dans le premier cas, les gens n'ont pas encore eu le temps de s'acclimater à la chaleur[27]. En outre, d'après les tendances du réchauffement observées à l'heure actuelle, la hausse des températures minimales nocturnes est plus rapide que celle des températures maximales diurnes et, d'après les modèles du climat, ces tendances se maintiendront[28].

FIGURE 2 : Profil d'un îlot thermique urbain



Cela signifie que, dans le futur, pendant les vagues de chaleur, le répit accordé par le rafraîchissement nocturne sera moins important, ce qui aggravera d'autant plus le stress lié à la température[29].

En plus d'avoir une incidence sur le nombre de décès, les extrêmes de chaleur sont aussi à l'origine de divers malaises. Parmi les effets directs des chaleurs intenses figurent la fatigue, l'épuisement, la fièvre miliaire, les crampes de chaleur, l'œdème, les coups de chaleur et les insolations. Les conséquences indirectes de ces conditions extrêmes, telles que l'aggravation des problèmes de santé existants, englobent un vaste éventail de troubles des systèmes circulatoire, respiratoire et nerveux.[30] Les facteurs qui accroissent le risque de développer une maladie à cause de la chaleur sont la vieillesse, la prise de médicaments (en particulier d'anticholinergiques ou de psychotropes), l'obésité, les antécédents de lésions causées par la chaleur et les affections de la peau.[31] Les maladies liées à la chaleur représentent une sollicitation supplémentaire pour le réseau de la santé, et peuvent être coûteuses du point de vue économique.[30] Des études indiquent que, même si les effets de la chaleur sur la santé sont reflétés par les admissions à l'hôpital (*voir* l'encadré 2), la relation chaleur-santé peut être difficile à quantifier parce que les registres des ambulances et les registres d'admission des hôpitaux ne sont pas conçus, à l'heure actuelle, pour consigner des données à ce sujet.

Dans le Grand Nord, les étés sont plus courts et plus frais qu'aux latitudes moins élevées; les gens et la faune y sont donc habitués à des températures plus basses que celles qui prévalent dans le sud du Canada[32]. Par conséquent, ce qui constitue une vague de chaleur dangereuse pour la santé dans les régions nordiques peut être ressenti différemment dans les régions situées plus au sud.

Même si les vagues de froid demeureront un problème, dans l'avenir,[33, 34] les chercheurs prévoient que la fréquence des épisodes de froid extrême diminuera, ce qui sera profitable au secteur des soins de santé. Pendant la seconde moitié du XX^{e} siècle, au Canada, le froid extrême a fauché beaucoup plus de vies que la chaleur extrême (2 875 contre 183, respectivement, entre 1965 et 1992).[17] La baisse du nombre d'épisodes de froid extrême sera particulièrement salutaire pour les sans-abri, qui n'arrivent pas toujours à trouver un refuge leur permettant d'éviter d'être malades ou de mourir de froid.

ENCADRÉ 2 : Relevé des maladies et des décès liés à la chaleur[30]

Dans cette étude, les chercheurs ont examiné les registres des consultations dans les hôpitaux dans le but de juger si ces documents permettraient de faire une évaluation des effets de la chaleur sur la santé. Ils recherchaient des correspondances entre les maladies liées à la chaleur (*voir* le texte pour des exemples de ces affections) et les périodes de stress causé par des températures élevées (température de l'air égale ou supérieure à 30 °C) entre 1992 et 1999.

Les chercheurs ont remarqué que l'utilité des registres en question aux fins visées était limitée. Néanmoins, la comparaison des données provenant de deux villes de l'Ontario, Ottawa et London, a permis de constater qu'Ottawa avait connu presque deux fois plus de vagues de chaleur (22 par rapport à 12 pour London) et qu'on y avait traité au-delà du double de patients pour des troubles de santé provoqués par la chaleur (117 contre 53). Les chercheurs en ont conclu que les registres médicaux pouvaient, en fait, aider à surveiller les effets de la chaleur sur la santé et à identifier les groupes vulnérables de la population dans les diverses villes et régions.

Pollution atmosphérique et affections connexes

La qualité de l'air a une incidence sur de nombreuses affections respiratoires. Au Canada, les concentrations moyennes de polluants toxiques dans l'air ont, dans l'ensemble, été ramenées à des valeurs relatives basses par rapport à ce qu'elles étaient il y a 50 ans; cependant, l'augmentation quotidienne et saisonnière du degré de pollution atmosphérique est encore suivie de très près par des pointes du nombre de personnes admises à l'hôpital pour des problèmes respiratoires ou circulatoires, et du nombre de décès attribuables à ces deux causes.[35, 36] La pollution atmosphérique est à l'origine d'affections aiguës et chroniques, par exemple des maladies pulmonaires, et est responsable d'un accroissement des dépenses de santé et du nombre de morts prématurées.[37] La qualité de l'air est spécialement préoccupante dans les régions les plus peuplées du Canada, notamment le corridor Windsor-Québec et les basses terres du Fraser, en Colombie-Britannique, où la pollution atmosphérique atteint très souvent des niveaux dangereusement élevés en été. En fait, on évalue qu'environ les deux tiers des Canadiens vivent dans des régions où le smog atteint en été des valeurs inquiétantes.[38] Les enfants et les personnes âgées souffrent particulièrement de la mauvaise qualité de l'air.[39]

Le changement climatique pourrait modifier les concentrations tant moyennes que maximales de polluants dans l'air.[24] Par exemple, on s'attend à ce que les concentrations ambiantes d'ozone au niveau du sol (un polluant qui irrite les poumons et rend la respiration difficile) augmentent aux latitudes moyennes, en partie à cause de l'élévation des températures,[16] et à ce que les épisodes de smog intense deviennent plus fréquents pendant l'été.[24] La hausse des températures estivales est susceptible de faire croître la consommation d'énergie à des fins de climatisation et, par conséquent, les émissions polluantes.[38] Toutefois, on pense généralement que la transition vers des sources d'énergie plus propres[40] et la réduction globale des émissions de gaz à effet de serre[41, 42] auront des effets bénéfiques sur la santé.

Les particules en suspension dans l'air provenant de sources naturelles comme les feux de forêt et l'érosion éolienne pourraient devenir plus abondantes à cause du changement climatique. Pendant les sécheresses qui ont sévi ces dernières années, des feux de forêt énormes ont répandu leur fumée sur une superficie de plus de 200 000 kilomètres carrés.[43] En juillet 2002, la fumée provenant des grands feux de forêt qui faisaient rage au Québec a conduit les autorités de l'État de New York à émettre un avertissement visant l'ensemble de leur territoire, et recommandant à toutes les personnes ayant des problèmes respiratoires ou cardiaques de ne pas aller dehors.[44] L'inhalation des particules produites par les feux de forêt peut irriter les voies respiratoires;[45] or, il est possible que le changement climatique entraîne, dans les années à venir, une augmentation de la fréquence et de la gravité de tels incendies dans certaines régions du Canada (*voir* le chapitre intitulé « La foresterie »).

S'il y a davantage de sécheresses, les concentrations atmosphériques de poussière pourraient connaître une hausse à cause de l'érosion des sols par le vent,[48] surtout dans les Prairies, où les tempêtes de poussière constituent un risque naturel important.[46] La présence dans l'air de poussière alcaline, attribuable à l'érosion éolienne du lit de lacs salés asséchés et à l'origine de problèmes au nez, à la gorge, aux voies respiratoires et aux yeux chez certains résidants ruraux du sud des Prairies, pourrait devenir plus commune si le changement climatique entraîne l'assèchement d'autres lacs salés dans cette région.[46]

Maladies d'origine hydrique

La multiplication des épisodes de fortes précipitations et l'élévation des températures provoquées par le changement climatique pourraient rendre plus fréquentes les maladies d'origine hydrique comme la cryptosporidiose et la lambliase. Chez la plupart des gens, les maladies de ce type n'ont habituellement pas de conséquences graves, mais les enfants en bas âge, les personnes âgées et les sujets dont le système immunitaire est affaibli peuvent y être vulnérables. Les fortes précipitations et les inondations peuvent entraîner des bactéries, des eaux usées, des engrais et d'autres déchets organiques dans les cours d'eau et les aquifères (*voir* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »). À défaut d'un traitement adéquat, ces épisodes peuvent avoir pour effet la contamination directe des sources d'approvisionnement en eau potable.

On a connu dernièrement des épidémies de maladies d'origine hydrique liées, en partie du moins, aux conditions climatiques – mentionnons, par exemple, la contamination de l'eau par *E. coli* à Walkerton, en Ontario, en 2000, par *Cryptosporidium* à Collingwood, en Ontario, en 1996, et par *Toxoplasma* dans la région métropolitaine de Victoria, en Colombie-Britannique, en 1995. Des témoins experts ont affirmé que l'épidémie qui a fait sept morts et a rendu malades des milliers de personnes à Walkerton pouvait s'expliquer en partie par la survenue d'un épisode de pluies exceptionnellement fortes après une période de sécheresse.[25] Il est de plus en plus généralement admis que de telles circonstances sont effectivement propices à l'éclosion d'épidémies de maladies d'origine hydrique. Les chercheurs ont établi que plus de la moitié des épidémies de maladies d'origine hydrique qui se sont déclarées aux États-Unis entre 1948 et 1994 avaient été précédées d'épisodes de précipitations intenses.[47] Krewski *et al.* proposent une analyse poussée des causes et de l'historique des maladies infectieuses liées à la contamination de l'eau potable au Canada.[48]

Il est également possible que l'élévation des températures accentue les problèmes de contamination de l'eau, puisque la chaleur favorise la prolifération des algues, des bactéries et autres micro-organismes, puis leur décomposition, ce qui donne à l'eau une odeur et un goût désagréables et, à l'extrême, la rend toxique (*voir* la référence 49; *voir aussi* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »). De plus, on a constaté que la hausse des températures et l'intensification du lessivage par les eaux pluviales, alliées à une utilisation accrue des plages, étaient associées à une augmentation des cas de maladies infectieuses chez les gens se livrant à des activités récréatives aquatiques et nautiques.[50]

Maladies d'origine alimentaire

La multiplication des épisodes de fortes précipitations et l'élévation des températures pourraient accroître la prolifération d'algues toxiques en milieu marin (*voir* la référence 51; *voir aussi* le chapitre intitulé « Les pêches »). Les populations denses d'algues toxiques peuvent contaminer les mollusques et les crustacés, et ainsi créer pour les humains qui les consomment un risque d'empoisonnement par les phycotoxines paralysantes. Le nombre de cas d'intoxication alimentaire par des aliments importés contaminés pourrait lui aussi augmenter, étant donné que la hausse de la température de l'air favorise la multiplication des microbes.[52]

Maladies transmises par les rongeurs et d'autres vecteurs

Les maladies transmises par des vecteurs sont des infections communiquées à l'humain ou à d'autres animaux par des arthropodes suceurs de sang comme les moustiques, les tiques et les puces. Les maladies transmises par les tiques et les insectes – par exemple, le virus du Nil occidental et l'encéphalite équine de l'Est et de l'Ouest (transmises par les moustiques), de même que la maladie de Lyme et la fièvre pourprée des montagnes Rocheuses (transmises par les tiques) –, [53, 54] sont déjà à la source de problèmes de santé humaine dans certaines régions

du Canada. Des virus transmis par les rongeurs, qui peuvent causer des maladies et même la mort chez l'être humain, sont également présents dans presque tout le sud du Canada.[55] Les hantavirus, à l'origine d'infections parfois mortelles (syndrome pulmonaire), sont particulièrement inquiétants du point de vue de la santé publique car les souris sylvestres, qui en sont les vecteurs, ont l'habitude d'infester les demeures et sont très répandues au Canada; vers le nord, on trouve des individus de cette espèce jusqu'au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest.[56, 57] Les rongeurs peuvent également propager des maladies transmises par les tiques telles que la babésiose.[58]

Certains craignent que le changement climatique ne crée des conditions plus favorables à l'implantation ou à la prolifération de maladies transmises par les rongeurs et d'autres vecteurs.[24] On prévoit que, de façon générale, l'incidence du changement climatique sur ces maladies sera le résultat des effets de la modification des paramètres de température, de précipitations et d'humidité de l'air sur les espèces porteuses, quoique la vitesse de développement des pathogènes eux-mêmes pourrait aussi varier. Par exemple, l'allongement et le réchauffement du printemps et de l'été dus au changement climatique pourraient faire intensifier la reproduction et accélérer le développement chez les moustiques, en plus d'accroître le nombre de piqûres qu'ils infligent.[29] Ces insectes pourraient également bénéficier de l'adoucissement des hivers puisque, à l'heure actuelle, les basses températures éliminent une certaine partie de leurs populations, qu'il s'agisse d'œufs, de larves ou d'adultes.[29] En outre, si les phénomènes météorologiques extrêmes deviennent plus fréquents, en particulier ceux qui déclenchent des inondations, les mares d'eau stagnante peu profondes, sites de reproduction des moustiques, se multiplieraient.[29]

En observant les tendances de la maladie de Lyme et du virus du Nil occidental, on constate avec quelle rapidité les nouvelles maladies peuvent se propager. À titre d'exemple, la maladie de Lyme s'est considérablement répandue aux États-Unis depuis les années 1980 et, à présent, elle est devenue un problème de santé publique.[59] L'affection demeure rare au Canada, mais l'élévation des températures et le déplacement vers le nord de populations d'animaux infestés de tiques porteuses de pathogènes pourraient en favoriser la propagation.[38] La vitesse fulgurante à laquelle s'est répandu récemment le virus du Nil occidental aux États-Unis et au Canada – même si ce n'est pas le changement climatique qui en est responsable – illustre aussi à quel point un virus introduit dans un nouvel environnement peut s'y propager rapidement et à grande échelle. Les conditions qu'on s'attend à voir s'installer avec le changement climatique pourraient faciliter encore davantage l'expansion du virus vers le nord.[38]

On s'inquiète également, au Canada, de la réapparition possible de la malaria dans le futur à cause du changement climatique, de l'augmentation des voyages et de l'immigration et de la résistance croissante des parasites aux médicaments.[60] Les personnes infectées par la malaria et mises en contact avec les moustiques du continent nord-américain capables de transporter *Plasmodium*, le pathogène responsable de cette affection, peuvent faire éclore des petits foyers d'infections.[60, 61, 62] De plus, si les conditions climatiques y deviennent favorables, on pourrait assister à l'arrivée, dans le sud du Canada, de nouveaux insectes porteurs[38] comme le moustique tigre (*Aedes albopictus*), qui s'est répandu dans 25 États depuis son introduction en 1987 aux États-Unis, en provenance de l'Asie.[63] Quoi qu'il en soit, il demeure une incertitude considérable quant à la façon dont le cycle de vie des vecteurs et l'incidence de maladies telles que la malaria seront modifiés par le changement climatique, surtout en Amérique du Nord.

Allergènes

Les changements dans les températures, les précipitations et la durée de la saison de croissance se répercuteront sur la croissance des végétaux et la production du pollen et, en fin de compte, sur la santé humaine, entre autres à cause de l'allongement de la saison des allergies.[16] Des études ont aussi montré que, en présence de fortes concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, la croissance et la production de pollen chez l'herbe à poux, espèce provoquant beaucoup de réactions allergiques, peuvent devenir plus importantes que la normale.[64] Toutes les espèces de végétaux qui produisent des substances allergènes ne seront pas nécessairement favorisées par les nouvelles conditions climatiques, mais il n'en reste pas moins que, dans un climat où les orages seraient plus fréquents, davantage d'allergènes seraient entraînés

dans l'air et des réactions allergiques surviendraient plus souvent.[65] Les vents qui accompagnent les orages pourraient aussi faire augmenter les concentrations de spores fongiques en suspension, dont on sait qu'ils déclenchent les crises d'asthme.[66]

Rayonnement ultraviolet

On prévoit que l'exposition au rayonnement ultraviolet sera plus importante dans le futur, ce qui rendra plus courants les lésions cutanées (coups de soleil) et oculaires (p. ex., les cataractes) temporaires ainsi que les cancers de la peau.[67, 68] L'accroissement de l'exposition aux ultraviolets pourrait être le résultat de divers facteurs associés au changement climatique, notamment l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique causé par l'augmentation des concentrations de certains gaz à effet de serre et la formation plus régulière de nuages de l'étage supérieur.[35] L'allongement de la saison estivale, période des loisirs extérieurs, pourrait également contribuer à augmenter l'exposition des gens au rayonnement ultraviolet.

Effets sur le comportement humain

Le climat influe aussi sur la santé mentale : cela devient particulièrement flagrant lorsque surviennent des catastrophes naturelles d'origine climatique qui forcent les gens à évacuer leur demeure et leur font subir des pertes matérielles. Il se crée alors un stress psychologique important, qui persiste longtemps sous la forme d'anxiété et de dépression.[23] Le bouleversement de l'ordre social qu'entraîne l'éparpillement des familles et des collectivités à la suite de phénomènes météorologiques extrêmes est particulièrement stressant pour les enfants[69] et les plus démunis.[70] On a enregistré une hausse de l'anxiété et du nombre de dépressions chez les agriculteurs dont les cultures avaient été anéanties par la sécheresse et chez les victimes du débordement de la rivière Rouge, en 1997.[8]

Il semblerait que la température influe également sur le comportement humain. Dans la région de Montréal, des chercheurs ont constaté que le nombre de crimes commis chaque jour avait tendance à augmenter lorsque les températures maximales quotidiennes avoisinaient 30 °C.[71] D'après une autre étude, les températures estivales élevées seraient associées à une multiplication des agressions contre la personne.[72] Il se pourrait aussi qu'il existe une relation entre les phénomènes météorologiques extrêmes, le taux d'agression et le taux de criminalité. Par exemple, l'entassement de personnes en état d'hébétude et de détresse dans des abris de fortune pourrait être propice à une augmentation du nombre d'agressions.[73] On a récemment étudié quelle incidence la tempête de verglas de 1998 avait eue sur le taux de criminalité dans trois régions du Québec (*voir* l'encadré 3).

ENCADRÉ 3 : Taux de criminalité pendant la tempête de verglas en 1998[73]

Dans cette étude, on comparait les statistiques de criminalité pour janvier 1997 et janvier 1998 afin de déterminer l'influence des désordres physiques et sociaux causés par la tempête de verglas de 1998 au sein des collectivités de trois régions du Québec (Montréal, Montérégie et Centre-du-Québec) sur les différents types de crimes commis.

L'étude a révélé qu'il n'y avait pas de tendance uniforme quant aux crimes perpétrés dans les trois régions pendant la tempête de verglas, quoique le nombre total de crimes dans la plupart des catégories ait diminué par rapport aux données pour la même période l'année précédente. À Montréal, par exemple, moins de vols avaient été commis, en particulier dans les épiceries, les entreprises non commerciales et les banques, mais le nombre de véhicules volés chez les concessionnaires automobiles avait augmenté. Montréal et la Montérégie avaient aussi connu une hausse des incendies criminels durant cette tempête. Dans le Centre-du-Québec, le nombre de crimes avait diminué dans à peu près toutes les catégories.

On a conclu de l'étude que cinq facteurs avaient eu un effet sur le comportement criminel pendant l'état de crise :

- le degré de désordre social;
- les occasions de commettre des crimes;
- les éléments dissuasifs (p. ex., une surveillance accrue et l'obstruction des accès);
- les freins sociaux informels (c.-à-d. l'altruisme);
- le degré de préparation aux catastrophes.

Effets sur la santé dans le Nord canadien

En plus d'être touchées par nombre des problèmes de santé figurant au tableau 1, les collectivités établies dans le Nord canadien seront aux prises avec d'autres difficultés nées des effets du changement climatique sur leur milieu physique et biologique. Beaucoup d'éléments indiquent que les régions nordiques subissent déjà les conséquences du changement climatique, en particulier sous la forme de modifications dans la distribution et les caractéristiques du pergélisol, de la glace de mer et de la couverture de neige.[74, 75, 76] Par exemple, des résidants du Nunavik et du Labrador ont signalé des changements apparus dans leur environnement physique depuis 20 à 30 ans et ayant eu des effets indéniables sur la sécurité des déplacements ainsi que sur la possibilité, pour les gens de ces régions, de chasser les espèces qui font partie de leur alimentation traditionnelle et d'avoir accès à des sources d'eau potable.[75] Les collectivités du Nord s'inquiètent de ce que ces effets perdurent et empirent (*voir* l'encadré 4).

En outre, les résidants de cette région sont préoccupés par les conséquences possibles du changement climatique sur les sources d'aliments traditionnels (*voir* le chapitre intitulé « Les zones côtières »). L'élévation des températures pourrait accroître le dépôt de polluants dans le milieu nordique et la libération, dans les réseaux trophiques des écosystèmes, de substances polluantes auparavant prisonnières des sols et des sédiments. Par exemple, des recherches laissent supposer que le réchauffement du climat pourrait aggraver l'absorption de métaux toxiques par les poissons. On a imputé la présence de fortes concentrations de cadmium et de plomb dans les tissus d'ombles chevaliers à une accélération de leur métabolisme induite par le réchauffement des eaux et l'allongement de la période où ces dernières sont libres de glace (*voir* le chapitre intitulé « Les pêches »; *voir aussi* la référence 77). L'innocuité et la valeur des sources de nourriture traditionnelle sont des questions primordiales pour les collectivités du Nord.

Enfin, dans un climat plus chaud, il deviendrait plus difficile de conserver les denrées périssables en les entreposant dans la neige ou la glace, ou en laissant le froid ambiant les congeler de façon naturelle.[76] Des intoxications (botulisme) causées par la consommation d'aliments traditionnels conservés à des températures trop élevées se produisent régulièrement en Alaska; on tente d'enrayer ce problème de santé publique par des programmes de sensibilisation.[78]

ENCADRÉ 4 : Effets sur la santé au Nunavik et au Labrador[75]

Dans cette étude, les chercheurs se sont penchés sur les effets possibles du changement climatique sur les collectivités du Nunavik et du Labrador et ce, en rassemblant des connaissances scientifiques et des éléments du savoir inuit.

En plus d'analyser la littérature relative à ce sujet et de consulter les scientifiques et les professionnels de la santé, les chercheurs ont discuté avec des groupes d'aînés, de chasseurs et de femmes de ces deux régions. Ils ont ainsi amélioré leur compréhension des principales préoccupations nourries au sujet du changement climatique par les collectivités concernées. Les chercheurs ont utilisé les données compilées pour produire une série de feuillets d'information et pour identifier les secteurs où il est nécessaire d'approfondir les recherches. Ces travaux aideront les décisionnaires et les résidants du Nord à faire face aux effets possibles du changement climatique.

Photo : Gracieuseté de S. Bernier.

Kuujjuaq (Nunavik).

Adaptation

Les mesures d'adaptation possèdent aussi le potentiel de réduire de façon importante les effets du changement climatique sur la santé si elles sont appliquées de manière efficace.

Les Canadiens se protègent contre les conditions climatiques extrêmes à l'aide de différents moyens d'adaptation physiques et sociaux. Les changements de l'habillement et du mode de vie selon les saisons, la conception des édifices et autres ouvrages, de même que des formes d'adaptation comportementale, sociale et économique leur ont permis de préserver, dans une certaine mesure, leur santé et leur confort, sauf dans les conditions climatiques et météorologiques extrêmes. Néanmoins, la possibilité que les changements climatiques futurs les obligent à composer avec des conditions dépassant tout ce qu'ils auraient connu auparavant donne à penser que le secteur de la santé sera sollicité davantage et que des mesures d'adaptation supplémentaires seront nécessaires.

Afin de remédier aux problèmes que pose le changement climatique pour la santé de la population, on a recommandé un processus en deux étapes par lequel les risques sont gérés de façon méthodique et complète.[79] D'abord, il faut évaluer la vulnérabilité et la capacité d'adaptation selon les régions, les collectivités et les groupes de la population. Ensuite, il faut choisir les stratégies d'adaptation les plus appropriées. La relation entre l'atténuation du changement climatique et les mesures d'adaptation est particulièrement marquée dans le secteur de la santé, en raison des bénéfices sanitaires qui découlent de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. On doit prendre en compte dans les évaluations tant les effets possibles du changement climatique sur le secteur de la santé que la capacité d'adaptation à ces effets. Ce processus a tout lieu d'être étudié dans un cadre de gestion intégrée des risques.[79]

On a déjà entrepris de mettre au point des vaccins contre plusieurs virus et protozoaires à l'origine de maladies infectieuses courantes dans les tropiques, dont la malaria et le virus du Nil occidental.[80, 81] Ces vaccins pourraient contribuer à restreindre la propagation des affections virales naissantes, dans le futur. La surveillance des nouvelles maladies, de même que les programmes de sensibilisation du public qui fournissent de l'information sur la façon de réduire les risques d'exposition et de transmission, joueront aussi un rôle dans l'atténuation de la menace que représentent les maladies infectieuses. On pourrait par exemple se servir de mesures satellitaires pour établir des liens entre les conditions environnementales et la propagation de certains vecteurs de pathogènes.[82]

Comme on l'a déjà mentionné, les effets sur la santé de l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes et des catastrophes naturelles d'origine climatique suscitent beaucoup d'inquiétude. Bien que de nombreuses municipalités canadiennes aient déjà un plan de gestion des situations d'urgence, les capacités en cette matière varient considérablement de l'une à l'autre. Les collectivités particulièrement exposées à des dangers d'ordre météorologique, comme des avalanches, des inondations, des vagues de chaleur ou de froid, ou des ondes de tempête, devraient être mieux préparées à faire face à l'accroissement de la fréquence des conditions extrêmes que les collectivités qui connaissent rarement de tels épisodes; cependant, d'autres facteurs interviennent aussi dans le degré de préparation. Quand on compare les mesures d'urgence prises lors des inondations causées par la rivière Rouge au Manitoba, en 1997, aux actions posées pour faire face à la tempête de verglas qui a frappé l'est de l'Ontario et le Québec, en 1998, on se rend compte de l'importance de la préparation aux urgences : dans le premier cas, le plan de mesures d'urgence en cas de catastrophe s'est avéré efficace, tandis que dans le second, les sources d'alimentation électrique d'urgence, les réseaux de distribution de nourriture et les refuges étaient insuffisants pour répondre à l'état de crise.[25] Depuis, des mesures ont été prises dans les régions touchées par la tempête de verglas pour améliorer la préparation aux situations d'urgence et la capacité à y réagir.[83]

Outre la gestion des situations d'urgence, au cœur de la réponse aux phénomènes climatiques extrêmes figure la mise en place de systèmes d'alerte rapide.[16] Des mesures de ce genre ont été implantées avec succès à Toronto dans le but de réduire les effets des extrêmes de chaleur et de froid sur la santé (*voir* l'encadré 5). Parmi les autres moyens permettant d'amoindrir les risques sanitaires du changement climatique, on peut mentionner la réglementation de l'utilisation des sols, par exemple en imposant des

ENCADRÉ 5 : Réduction de la mortalité causée par les températures extrêmes[84]

En juin 2001, des mesures d'adaptation relatives à la santé publique ont été implantées dans la région métropolitaine de Toronto afin d'aider à protéger les citoyens lors des épisodes de chaleur ou de froid extrêmes. De vastes partenariats ont été établis entre des corps de l'administration publique (p. ex., des services d'urgence, des services d'hébergement, des bibliothèques) et des organisations non gouvernementales (p. ex., des chaînes de pharmacie, des réseaux de personnes âgées) afin d'aider à protéger les groupes les plus vulnérables de la population, comme les personnes âgées et les sans-abri, contre les températures extrêmes.

Les stratégies d'adaptation mises en place comprennent les suivantes :

- émission d'avertissements de froid ou de chaleur intenses pendant les bulletins de nouvelles;
- interventions concrètes des organismes de santé publique et des groupes bénévoles (p. ex., patrouille des rues pour localiser et soigner les sans-abri);
- accroissement de l'accès à des édifices publics, centres d'hébergement et de dépannage et refuges chauffés et climatisés;
- nouvelles lignes directrices relatives à la gestion des centres de soins de longue durée.

restrictions quant à la construction dans les plaines inondables, et l'amélioration des installations de traitement des eaux et des eaux usées (*voir* le chapitre intitulé « Les ressources en eau »).

Plusieurs villes canadiennes favorisent les mesures à plus long terme pour réduire l'effet d'îlot thermique urbain. L'été, les températures atteignent des valeurs plus élevées dans les agglomérations urbaines que dans les milieux ruraux, en partie à cause de l'abondance d'édifices et autres surfaces qui absorbent le rayonnement solaire incident plutôt que de le réfléchir. Des chercheurs ont recommandé, dans le cadre d'une étude portant sur la ville de Toronto, la promotion de mesures rentables comme l'utilisation à grande échelle de matériaux réfléchissants, de couleur pâle, pour les toits et les revêtements, de même que la plantation en divers endroits stratégiques de végétaux donnant de l'ombre.[84] Pour promouvoir ces mesures, on les présente comme des moyens d'adaptation « bénéfiques pour tous » puisqu'ils permettent également une économie d'énergie.

Par contre, d'autres chercheurs font remarquer que les mesures d'adaptation pourraient elles-mêmes engendrer des risques pour la santé et la sécurité. Par exemple, les espaces verts abritent des animaux, des oiseaux, des insectes piqueurs et des tiques qui peuvent être porteurs de maladies infectieuses comme la maladie de Lyme[85] et le virus du Nil occidental. Par conséquent, une planification et une mise à l'essai minutieuses des mesures d'adaptation proposées pourraient s'avérer nécessaire, tout comme l'exercice d'une surveillance sanitaire après l'application des mesures en question.

Favoriser l'adaptation

Une étude portant sur le réseau de la santé dans la région de Toronto-Niagara a mis en évidence plusieurs obstacles à une adaptation efficace au changement et à la variabilité climatiques dans ce secteur,[24] obstacles découlant de lacunes dans les connaissances, de carences d'organisation et de coordination, d'une compréhension insuffisante du changement climatique et de ses répercussions sur la santé, ainsi que de déficiences dans la transmission d'information à ce sujet dans le milieu de la santé. Si l'on veut que les mesures d'adaptation soient efficaces, il faudra surmonter ces problèmes (*voir* l'encadré 6).

L'efficacité de l'adaptation sera aussi tributaire du degré de sensibilisation et d'engagement des Canadiens au chapitre de la préparation aux effets possibles du changement climatique sur la santé. Plusieurs organisations non gouvernementales (ONG) ont commencé à attirer l'attention de leurs membres et du public sur les causes et les effets du changement climatique et sur la nécessité d'adopter des mesures d'atténuation et d'adaptation à cet égard. L'Association canadienne de santé publique[80] figure parmi ces ONG, de même que l'Institut canadien de la santé infantile, qui a publié son évaluation des conséquences du changement climatique pour la santé des enfants au Canada.[69]

ENCADRÉ 6 : Surmonter les obstacles à l'adaptation[24]

Pour surmonter les obstacles qui empêchent de s'adapter de façon efficace, les chercheurs font les recommandations suivantes :

- élaborer des réponses intégrées au changement climatique et aux problèmes de santé;
- étendre les réseaux existants de surveillance et d'observation pour que les effets du climat sur la santé fassent l'objet d'un contrôle suivi;
- accroître la sensibilisation aux mesures d'adaptation dans les milieux professionnels et chez le public;
- associer des organisations telles que l'Association canadienne des médecins pour l'environnement aux campagnes de sensibilisation;
- tirer des leçons des tentatives faites dans le passé et en tirer parti pour élaborer une structure organisationnelle destinée à mener un plan d'action pour l'adaptation.

Les recommandations clés suivantes ont été formulées :

- Renforcer la capacité du secteur de la santé à gérer les risques posés par le changement climatique pour la santé et le bien-être humains, surtout parmi les groupes les plus vulnérables de la population, notamment les enfants, les personnes âgées et les personnes handicapées.
- Gérer les risques sanitaires pour la population de façon méthodique et complète, pour que la question du changement climatique soit intégrée aux cadres de gestion existants au lieu d'être traitée à part.

Lacunes sur le plan des connaissances et besoins en matière de recherche

On prend de plus en plus conscience que le changement climatique sera une sollicitation supplémentaire pour le secteur de la santé au Canada. Ces dernières années, de nombreuses études portant sur les liens entre le changement climatique et la santé ont révélé que les effets de ce dernier ne s'exerceront pas de manière uniforme, mais qu'ils interagiront avec d'autres sources de stress pour la santé et le secteur de la santé, et qu'il ne sera pas nécessairement possible de définir clairement leur rayon d'action. Si l'élaboration de mécanismes et de cadres de gestion visant ces questions a déjà commencé, il demeure toutefois des besoins en matière de recherche et des lacunes dans les connaissances, autant en ce qui concerne les effets potentiels que notre capacité d'adaptation.

Les études citées dans le présent chapitre relèvent plusieurs besoins en matière de recherche, entre autres les suivants.

Impacts

1) Meilleure compréhension de la possibilité que le changement climatique produise, dans le sud du Canada, des conditions environnementales propices à l'établissement ou à la résurgence de maladies infectieuses, ainsi que de la manière dont cette possibilité pourrait se concrétiser.

2) Études des effets du changement climatique sur la durabilité, la santé, la sécurité et les ressources alimentaires des collectivités du Nord.

3) Meilleure compréhension des effets des vagues de chaleur sur la santé au Canada.

4) Meilleure compréhension des répercussions du changement climatique sur la sécurité sanitaire et la disponibilité de l'approvisionnement en eau potable pour les collectivités canadiennes.

5) Études des effets des phénomènes climatiques extrêmes sur la santé mentale et le comportement humain.

Adaptation

1) Examen des facteurs qui influent sur notre capacité d'adaptation actuelle, y compris les facteurs physiologiques, psychologiques (connaissances, croyances, attitudes) et socio-économiques, de même que les caractéristiques des réseaux de soins de santé.

2) Élaboration et mise en place progressives de mesures de surveillance biologique et sanitaire à titre de moyens d'adaptation au changement climatique.

3) Approfondissement des recherches sur la conception de mesures préventives d'adaptation, comme la mise au point de vaccins contre les maladies émergentes, et l'implantation de systèmes d'alerte aux températures extrêmes.

4) Recherches sur le rôle de la gestion des situations d'urgence et de la prévention des dangers pour réduire les effets néfastes sur la santé (tant physiques que psychologiques) des extrêmes climatiques.

5) Évaluation de l'efficacité et de l'adéquation de mesures actuellement appliquées et susceptibles d'être proposées comme moyens d'adaptation, entre autres les avis de santé publique (p. ex., info-smog, avis de faire bouillir l'eau, fermeture de plages).

Conclusion

Le changement climatique pourrait avoir des effets notables sur la santé et le bien-être humains au Canada. Parmi les principales préoccupations figure la hausse du nombre de maladies et de décès prématurés dus au stress lié à la température et à la pollution atmosphérique, ainsi que de l'apparition et de la persistance de maladies infectieuses. Les conséquences des catastrophes naturelles d'origine climatique et des phénomènes météorologiques extrêmes sur la sécurité physique et la santé mentale constituent un autre sujet d'inquiétude. À cause des répercussions du changement climatique sur les écosystèmes de leur milieu, les collectivités établies dans le Nord canadien feront face à d'autres problèmes encore. Il est probable que le changement climatique sera bénéfique à certains égards; par exemple, il est susceptible d'entraîner une baisse des décès dus au froid. Cependant, on prévoit que les conséquences néfastes seront plus nombreuses que les effets profitables. C'est parmi les groupes les plus vulnérables de la population, comme les personnes âgées, les enfants, les personnes ayant un handicap physique et les démunis, que les effets se feront le plus cruellement sentir.

Il sera essentiel de s'adapter afin de réduire notre vulnérabilité au changement climatique. Parmi les mesures d'adaptation figurent la mise au point de vaccins contre les nouvelles maladies, les programmes de sensibilisation du public visant à restreindre l'exposition aux maladies et la transmission de celles-ci, et l'amélioration des plans de mesures d'urgence en cas de catastrophe. L'implantation de systèmes d'alerte rapide aux températures extrêmes constitue aussi une mesure d'adaptation efficace. Pour réussir, l'adaptation demandera des efforts concertés de la part des différents groupes intéressés et la prise en compte du changement climatique dans les processus décisionnels.

Références

Les références en caractères gras désignent des rapports portant sur des travaux financés dans le cadre du Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement du Canada.

(1) Organisation mondiale de la Santé. *Climate change and human health: impact and adaptation*, 2000. Document WHO/SDE/OEH/004, Genève et Rome, 48 p.

(2) Institut canadien d'information sur la santé. *Les soins de santé au Canada 2002*, 2002. Disponible en ligne à http://secure.cihi.ca/ cihiweb/dispPage.jsp?cw page = AR 43 F&cw topic = 43 (accès en avril 2003).

(3) Pelletier, L., P. Buck, P. Zabchuk, B. Winchester et T. Tam. « La grippe au Canada, saison 1998-1999 », dans Santé Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 25, n° 22, 1999. Disponible en ligne à http:// www.hc-sc.gc.ca/pphb-dgspsp/publicat/ ccdr-rmtc/ 99vol25/m2522f.html (accès en avril 2003).

(4) Li, Y. « Saison grippale 1999-2000 : diagnostics portés par les laboratoires canadiens et caractérisation des souches », dans Santé Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 26, n° 22, 2000. Disponible en ligne à http:// www.hc-sc.gc.ca/pphb-dgspsp/publicat/ccdr-rmtc/ 00vol26/m2622fa.html (accès en avril 2003).

(5) Trudeau, R. « Profils mensuels et quotidiens des décès », dans Statistique Canada, *Rapports sur la santé*, vol. 9, n° 1, 1997. Disponible en ligne à http://www.statcan.ca/francais/indepth/82-003/ archive/1997/hrar1997009001s0a05 f.pdf (accès en avril 2003).

(6) Brooks, G.R. et D.E. Lawrence. *Les effets et conséquences géomorphiques de la grande inondation de juillet 1996 dans le Saguenay (Québec)*, Ressources naturelles Canada, 1998. Disponible en ligne à http://sts.gsc.nrcan.gc.ca/tsd dcp/indexsaguenay1996 f.asp (accès en avril 2003).

(7) Hartling L., W. Pickett et R.J. Brison. « The injury experience observed in two emergency departments in Kingston, Ontario during the 'Ice Storm 98' », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 90, n° 2, 1999, pp. 95-98.

(8) Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge. *Soyons prêts pour la prochaine inondation*, Ottawa, Commission mixte internationale, 2000, 174 p. Rapport final du Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge de la Commission mixte internationale. Disponible en ligne à http://www.ijc.org/pdf/nextfloodf.pdf (accès en avril 2003).

(9) Slinger, R., D. Werker, H. Robinson et R. Bourdeau. « Les effets indésirables sur la santé associés au grand verglas de 1998 : rapport de surveillance hospitalière de la région desservie par l'unité sanitaire de l'Est de l'Ontario », dans Santé Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 25, n° 17, 1999. Disponible en ligne à http://www.hc-sc.gc.ca/pphb-dgspsp/publicat/ ccdr-rmtc/99vol25/m2517fa.html (accès en avril 2003).

(10) Haines, A., A.J. McMichael et P.R. Epstein. « Environment and health: 2. global climate change and health », *Journal de l'Association médicale canadienne*, vol. 163, n° 6, 2000, pp. 729-734.

(11) Aron, J.L. et J.M. Patz (éd.). *Ecosystem change and public health: a global perspective*, Baltimore (Maryland), Johns Hopkins University Press, 2001, 480 p.

(12) Wilson, M.L. « Ecology and infectious disease », dans *Ecosystem Change and Public Health: A Global Perspective*, J.L. Aron, et J.A. Patz (éd.), Baltimore, (Maryland), Johns Hopkins University Press, 2001, pp. 283-324.

(13) Albritton, D.L. et L.G.M. Filho. « Résumé technique », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : éléments scientifiques*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (dir.), 2001. Contribution du Groupe de travail I au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 21-84. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/ pub/un/ giecgt1.pdf (accès en avril 2003).

(14) Institut canadien d'études climatologiques. *Scénarios canadiens de répercussions climatiques*, 2002. Disponible en ligne à http://www.cics.uvic.ca/ scenarios/index.cgi?F Scénarios (accès en avril 2003).

(15) Ressources naturelles Canada. *Sensibilités aux changements climatiques au Canada*, 2000. Disponible en ligne à http://adaptation.nrcan.gc.ca/resource f.asp (accès en avril 2003).

(16) McMichael, A., A. Githeko, R. Akhtar, R. Carcavallo, D. Gubler, A. Haines, R.S. Kovats, P. Martens, J. Patz et A. Sasaki. « Human health », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 451-485. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm (accès en mars 2003).

(17) Duncan, K., T. Guidotti, W. Cheng, K. Naidoo, G. Gibson, L. Kalkstein, S. Sheridan, D. Waltner-Toews, S. MacEachern et J. Last. « Étude pancanadienne sur la variabilité et le changement climatique – secteur de la santé », dans *Impacts et adaptation à la variabilité et au changement du climat*, 1997. G. Koshida et W. Avis (dir.), Questions sectorielles. Environnement Canada, *Étude pancanadienne : impacts et adaptation au climat*, tome VII, pp. 501-620.

(18) Santé Canada. *Première conférence annuelle de concertation nationale pour la recherche scientifique et stratégique sur le changement climatique, la santé et le bien-être : quelles sont les conséquences du changement climatique pour vos priorités de recherche scientifique et stratégique en santé?*, Santé Canada, Bureau du changement climatique et de la santé, 2001.

(19) Koshida, G. et W. Avis. « Résumé, Étude pancanadienne, tome VII », dans *Impacts et adaptation à la variabilité et au changement du climat*, 1998. G. Koshida et W. Avis (dir.), Questions sectorielles. Environnement Canada, *Étude pancanadienne : impacts et adaptation au climat*, tome VII, p. xxiii.

(20) Cohen, S. et K. Miller. « North America », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, pp. 735-800. Disponible en ligne à http://www.ipcc.ch/pub/ reports.htm (accès en avril 2003).

(21) Klaver, J.D.A. « Climate change and human health: a Canadian prairie perspective », thèse de maîtrise en sciences, Edmonton (Alberta), Université de l'Alberta, 2002, 182 p.

(22) **Klaver, J., C.L. Soskolne, D.W Spady et K.E. Smoyer-Ibmic. *A feasibility assessment to study societal adaptation and human health impacts under various climate change scenarios anticipated in the Canadian Prairies*, 2001a. Rapport de discussions en table ronde rédigé pour la Coopérative des Prairies pour la recherche en adapatation. Disponible en ligne à http://www.phs.ualberta.ca/PARC-RTD-Report.pdf (accès en avril 2003).**

(23) **Klaver, J., C.L. Soskolne, D.W. Spady et K.E. Smoyer-Ibmic. *Climate change and human health: a review of the literature from a Canadian Prairie perspective*, 2001b. Rapport rédigé pour la Coopérative des Prairies pour la recherche en adapatation, 46 p.**

(24) **Chiotti, Q., I. Morton et A. Maarouf. *Toward an adaptation action plan: climate change and health in the Toronto-Niagara region*, 2002. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 138 p.**

(25) Last, J.M. et Q.P. Chiotti. « Les changements climatiques et la santé », dans *ISUMA : revue canadienne de recherche sur les politiques*, vol. 2, n° 4, 2001, pp. 66-74.

(26) Davis, R.E., P.C. Knappenberger, W.M. Novicoff et P.J. Michaels. « Decadal changes in heat-related human mortality in the eastern United States », *Climate Research*, vol. 22, 2002, pp. 175-184.

(27) Sheridan, S.C., W.P. Kent et L.S. Kalkstein. *The development of the new Toronto heat-health alert system*, 2002. Urban Heat Island Summit, Toronto (Ontario), du 1er au 4 mai 2002. Disponible en ligne à http://www.city.toronto.on.ca/cleanairpartnership/pdf/finalpapersheridan.pdf (accès en avril 2003).

(28) Dhakhwa, G.B. et C. L. Campbell. « Potential effects of differential day-night warming in global climate change on crop production », *Climatic Change*, vol. 40, nos 3-4, 1998, pp. 647-667.

(29) Epstein, P.R. « Oui, le réchauffement de la planète est dangereux », dans *Pour la science*, octobre 2000, pp. 80-88.

(30) **Thompson, W., D. Burns et Y. Mao. Report A-124: *Feasibility of identifying heat-related illness and deaths as a basis for effective climate change risk management and adaptation*, Santé Canada, 2001, 57 p.**

(31) Cooper, J.K. « Preventing heat injury: military versus civilian perspective », *Military Medicine*, vol. 162, n° 1, 1997, pp. 55-58.

(32) Northern Climate Exchange. *Yukon historical and projected temperature and precipitation trends*, 2002. Disponible en ligne à http://yukon.taiga.net/knowledge/resources/projected.html (accès en avril 2003).

(33) Donaldson G.C. et W.R. Keatinge. « Early increases in ischaemic heart disease mortality dissociated from and later changes associated with respiratory mortality after cold weather in south east England », *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 51, n° 6, 1997, pp. 643-648.

(34) McGregor, G.R. « The meteorological sensitivity of ischaemic heart disease mortality events in Birmingham, UK », *International Journal of Biometeorology*, vol. 45, n° 3, 2001, pp. 133-142.

(35) Goldberg, M.S., R.T. Burnett, J. Brook, J.C. Bailar, M.F. Valois et R. Vincent. « Associations between daily cause-specific mortality and concentrations of ground-level ozone in Montréal, Quebec », *American Journal of Epidemiology*, vol. 154, n° 9, 2001, pp. 817-826.

(36) Çakmak, S., S. Bartlett et P. Samson. « Indicateurs d'hygiène du milieu », dans Santé Canada, *Bulletin de recherche sur les politiques de santé*, n° 4, 2002, pp. 9-12.

(37) Santé Canada. *Santé et qualité de l'air – Effets sur la santé*, 2001. Disponible en ligne à http://www.hc-sc.gc.ca/ hecs-sesc/4ualite air/ effets sante.htm (accès en juin 2003).

(38) Maarouf, A. et Q. Chiotti. « An update on the threat of climate change to health in Canada. » dans *Proceedings of Water, Climate and Health Symposium*, Panama City, Panama (CATHALAC), du 25 au 27 octobre 2001.

(39) Diaz, J., R. Garcia, F. Velazquez de Castro, E. Hernandez, C. Lopez et A. Otero. « Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997 », *International Journal of Biometeorology*, vol. 46, nº 3, 2002, pp. 145-149.

(40) Jessiman, B., R. Burnett et P. de Civita. « Présence du soufre dans l'essence et les autres carburants : arguments en faveur de l'action (ou de l'inaction) », dans Santé Canada, *Bulletin de recherche sur les politiques de santé*, nº 4, 2002 pp. 19-22.

(41) Blomqvist, A., P. Crabbé, G. Dranitsaris et P. Lanoie. *Comité consultatif économique sur les changements climatiques et la santé*, 2000. Rapport final sur les impacts sur la santé des mesures d'atténuation des gaz à effet de serre, soumis à Santé Canada, 44 p.

(42) Cifuentes, L., V.H. Borja-Aburto, N. Gouveia, G. Thurston et D.L. Davis. « Assessing the health benefits of urban air pollution reductions associated with climate change mitigation (2000-2020): Santiago, Sao Paulo, Mexico City, and New York City », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, suppl. 3, 2001, pp. 419-425.

(43) Ressources naturelles Canada. *Feux de forêt*, 2003. Disponible en ligne à http://www.nrcan-rncan. gc.ca/cfs-scf/science/resrch/forestfiret.html (accès en avril 2003).

(44) Global Fire Monitoring Center. *Forest fires in Canada, 08 July 2002*, 2002. Disponible en ligne à http://www.fire.uni-freiburg.de/current/archive/ ca/2002/07/ca 07082002.htm (accès en avril 2003).

(45) Emmanuel, S.C. « Impact to lung health from forest fires: the Singapore experience », *Respirology*, vol. 5, 2000, pp. 175-182.

(46) Wolfe, S.A. « Eolian activity », dans *A Synthesis of Geological Hazards in Canada*, G.R. Brooks (éd.), 2001. Commission géologique du Canada, bulletin 548, pp. 231-240.

(47) Curriero F.C., J.A. Patz, J.B. Rose et S. Lele. « The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994 », *American Journal of Public Health*, vol. 91, nº 8, 2001 pp. 1194-1199.

(48) Krewski, D., J. Balbus, D. Butler-Jones, C. Haas, J. Isaac-Renton, K. Roberts et M. Sinclair. *The Walkerton Inquiry: Commissioned Paper 7, Managing health risks from drinking water*, Faculté de médecine et Faculté des sciences de la santé, Université d'Ottawa, Toronto (Ontario), Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2002, 258 p.

(49) Chevalier, P., R. Pilote et J.M. Leclerc. « Risque à la santé publique découlant de la présence de cyanobactéries (algues bleues) et de mycrocystines dans trois bassins versants du sud-ouest québécois tributaires du fleuve Saint-Laurent », *Saint-Laurent Vision 2000 Bulletin*, 15 juillet 2002. Disponible en ligne à http://s1v2000.qc.ca/bibliotheque/centre docum/ phase3Lapportcyanobacteries/accueilf.htm (accès en avril 2003).

(50) Ville de Toronto. *Toronto beaches water quality reports*, 2001. Disponible en ligne à http://www.city. toronto.on.ca/beach/index.htm (accès en avril 2003).

(51) **Weise, A.M., M. Levasseur, F.J. Saucier, S. Senneville, A. Vézina, E. Bonneau, G. Sauvé et S. Roy. *The role of rainfall, river run-off and wind on toxic A. tamatiense bloom dynamics in the Gulf of St. Lawrence (eastern Canada): analysis of historical data*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada.**

(52) Bentham, G. et I.H. Langford. « Climate change and the incidence of food poisoning in England and Wales », *International Journal of Biometeorology*, vol. 39, nº 2, 1995, pp. 81-86.

(53) Morshed, M.G. « Tick-borne diseases and laboratory diagnosis », *Clinical Microbiology Proficiency Testing Connections*, vol. 3, nº 1, 1999, pp. 1-4. Disponible en ligne à http://www.interchange.ubc.ca/cmpt/cmpt new/archivedconnec-tionsticks3199.htm (accès en avril 2003).

(54) Morshed, M.G., J.D. Scott, S.N. Baneriee, K. Fernando, R. Mann et J. Isaac-Renton. « Premier isolement de *Borrelia burgdorferi*, le spirochète responsable de la maladie de Lyme, chez *Ixodes scapularis*, la tique à pattes noires, au Parc provincial Rondeau en Ontario », dans Santé Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 26, nº 6, 2000. Disponible en ligne à http://www.hc-sc.gc.ca/ pphb-dgspsp/publicat/ccdr-rmtc/OOvo126/m2606fb.html (accès en avril 2003).

(55) Drebot, M.A., H. Artsob et D. Werker. « Syndrome pulmonaire dû au Hantavirus au Canada, 1989-1999 », dans Santé Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 26, nº 8, 2000. Disponible en ligne à http://www.hc-sc.gc.ca/ pphb-dgspsp/publicat/ccdr-rmtc/OOvo126/m2606fb.html (accès en avril 2003).

(56) Mills, J.N. et J.E. Childs. « Ecologic studies of rodent reservoirs: their relevance for human health », *Emerging Infectious Diseases*, vol. 4, n° 4, 1998, pp. 529-537.

(57) Calisher, C., W.P. Sweeney, J.J. Root et B.J. Beaty. « Navigational instinct: a reason not to livetrap deer mice in residences », *Emerging Infectious Diseases*, vol. 5, n° 1, 1999. Disponible en ligne à http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vo15no1/letters.htm (accès en avril 2003).

(58) Jassoum, S.B., L.W. Fong, B. Hannach et K.C. Kain. « Babésiose post-transfusionnelle en Ontario : premier cas signalé au Canada », dans Santé Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 26, n° 2, 2000. Disponible en ligne à http://www.hc-sc.gc.ca/pphb-dgspsp/publicat/ccdr-rmtc/OOvo126/m2606fb.html (accès en avril 2003).

(59) Centers for Disease Control and Prevention. *CDC Lyme Disease Home Page*, 2001. Disponible en ligne à http://www.cdc.gov/ncidod/dvbid/lyme/index.htm (accès en avril 2003).

(60) Martens, P. « Health and climate change: modelling the impacts of global warming and ozone depletion », *Health and the Environment Series*, Londres, Royaume-Uni, Earthscan Publications Ltd., 1998a, 176 p.

(61) Bradley, C.B., M.H. Zaki, D.G. Graham, M. Mayer, V. DiPalma, S.R. Campbell, S. Kennedy, M.A. Persi, A. Szlakowicz, P. Kurpiel, J. Keithly, J. Ennis, P. Smith et O. Szlakowicz. « Probable locally acquired mosquito-transmitted Plasmodium vivax infection, Suffolk County, New York, 1999 », Centers for Disease Control, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, vol. 49, n° 22, 2000, pp. 495-498. Disponible en ligne à http://www.cdc.gov/mmwr review/mmwrhtml/mm4922a4.htm (accès en avril 2003).

(62) Seys, S.A. et J.B. Bender. « The changing epidemiology of malaria in Minnesota », Centers for Disease Control, *Emerging Infectious Diseases*, vol. 7, n° 6, 2001. Disponible en ligne à http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vo17no6/seys.htm (accès en avril 2003).

(63) Moore C.G. et C.J. Mitchell. « *Aëdes albopictus* in the United States: ten-year presence and public health implications », Centers for Disease Control, *Emerging Infectious Diseases*, vol. 3, n° 3, 1997, pp. 329-344.

(64) Ziska, L.H. et F.A. Caulfield. « Rising CO_2 and pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*), a known allergy-inducing species: implications for public health », *Australian Journal of Plant Physiology*, vol. 27, n° 10, 2000, pp. 893-898.

(65) Burch, M. et E. Levetin. « Effects of meteorological conditions on spore plumes », *International Journal of Biometeorology*, vol. 46, n° 3, 2002, pp. 107-117.

(66) Dales, R.E., S. Cakmak, S. Judek, T. Dann, F. Coates, J.R. Brook et R.T. Burnett. « The role of fungal spores in thunderstorm asthma », *Chest*, vol. 123, 2003, pp. 745-750.

(67) Martens, W.J.M. « Health impacts of climate change and ozone depletion: an ecoepidemiologic modeling approach », *Environmental Health Perspectives*, vol. 106, suppl. 1, 1998b, pp. 241-251.

(68) Walter, S.D., W.D. King et L.D. Marrett. « Association of cutaneous malignant melanoma with intermittent exposure to ultraviolet radiation: results of a case-control study in Ontario, Canada », *International Journal of Epidemiology*, vol. 28, n° 3, 1999, pp. 418-427.

(69) Enright, W. *Changement d'habitudes, changement climatique : analyse de base*. Ottawa (Ontario), Institut canadien de la santé infantile, 2001, 129 p.

(70) Krug, E.G., M.J. Kresnow, J.P. Peddicord, L.L. Dahlberg, K.E. Powell, A.E. Crosby et J.L. Annest. « Suicide after natural disasters », *New England Journal of Medicine*, vol. 338, n° 6, 1998, pp. 373-378.

(71) **Ouimet, M. et E. Blais. *Rhythms of crimes: how weather and social factors affected the daily volume of crimes in greater Montréal from 1995 to 1998*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 55 p.**

(72) Anderson, C.A. « Heat and violence», *Current Directions in Psychological Science*, v. 10, n° 1, 2001, pp. 33-38.

(73) **Lemieux, F. *L'impact de la crise du verglas au Québec en 1998 sur la criminalité*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 36 p.**

(74) Fenge, T. « Les Inuits et les changements climatiques », dans *ISUMA : revue canadienne de recherche sur les politiques*, vol. 2, n° 4, hiver 2001, pp. 83-91.

(75) **Furgal, C.M. *et al. Climate change and health in Nunavik and Labrador: what we know from science and Inuit knowledge*, 2002. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 139 p.**

(76) Nickels, S., C. Furgal, J. Castelden, P. Moss-Davies, M. Buell, B. Armstrong, D. Dillon et R. Fongerm. « Putting the human face on climate change through community workshops », dans *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Arctic Environmental Change*, I. Krupnik et D. Jolly (éd.), 2002, Arctic Research Consortium of the United States, Arctic Studies Centre, Smithsonian Institution, Washington, (D.C.), pp. 300-344.

(77) Köck, G., C. Doblander, W. Wieser, B. Berger et D. Bright. « Fish from sensitive ecosystems as bioindicators of global climate change: metal accumulation and stress response in char from small lakes in the high Arctic », *Zoology*, vol. 104, suppl. IV, 2001, p. 18.

(78) Horn, A., K. Stamper, D. Dahlberg, J. McCabe, M. Beller et J.P. Middaugh. « Botulism outbreak associated with eating fermented food, Alaska, 2001 », Centers for Disease Control, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, vol. 50, n° 32, 2001, pp. 680-682. Disponible en ligne à http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5032a2.htm (accès en avril 2003).

(79) Santé Canada. *Cadre décisionnel de Santé Canada pour la détermination, l'évaluation et la gestion des risques pour la santé*, 2000, 87 p.

(80) Marshall, E. « Reinventing an ancient cure for malaria », *Science*, vol. 290, 2000, pp. 437-438.

(81) Taubes, G. « Searching for a parasite's weak spot », *Science*, vol. 290, 2000, pp. 434-437.

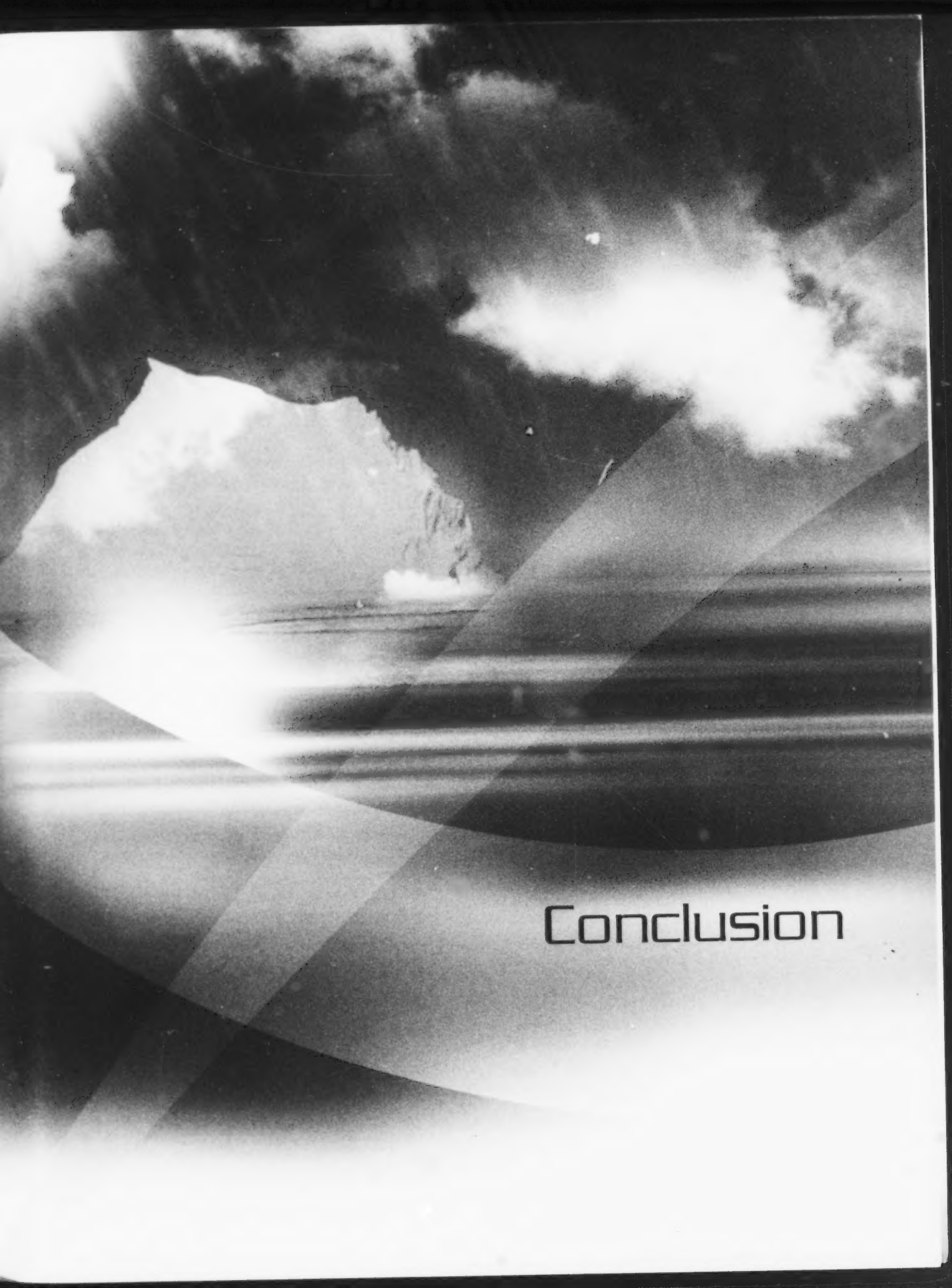
(82) Estrada-Peña, A. « Geostatistics and remote sensing as predictive tools of tick distribution: a cok-riging system to estimate *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) habitat suitability in the United States and Canada from advanced very high resolution radiometer satellite imagery », *Journal of Medical Entomology*, vol. 35, n° 6, 1998, pp. 989-995.

(83) Beauchemin, G. « Lessons learned – improving disaster management », dans *Proceedings from High Impact Weather Conference*, Ottawa, Canada, le 11 avril 2002. Institut de prévention des sinistres catastrophiques, University of Western Ontario, London (Ontario), pp. 14-18.

(84) **Basrur, S., P. Jessup, H. Akbari et L. Kalkstein. *Development of model adaptation strategies to reduce health risks from summer heat in Toronto*, 2001. Rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada.**

(85) Daniels, T.J., R.C. Falco, I. Schwartz, S. Varde et R.G. Robbins. « Deer ticks (*Ixodes scapularis*) and the agents of Lyme disease and human granulocytic ehrlichiosis in a New York City park », Centers for Disease Control, *Emerging Infectious Diseases*, vol. 3, n° 3, 1997, pp. 353-355.

(86) Association canadienne de santé publique. *Plan stratégique sur la santé et le changement climatique : cadre de collaboration*, 2001. Rapport final de la Table ronde sur la santé et le changement climatique, Association canadienne de santé publique, Ottawa (Ontario).



Conclusion

« La communauté mondiale est confrontée à beaucoup de risques dus au changement climatique. Il ne fait aucun doute qu'il importe de comprendre la nature des risques pour lesquels les systèmes naturels et humains sont vraisemblablement les plus vulnérables, ainsi que les possibilités des mesures adaptatives. » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001).

Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne présente un aperçu des questions actuelles concernant les impacts du changement climatique et de l'adaptation à celui-ci au Canada, selon les recherches effectuées au cours des cinq dernières années. La nature de ces recherches a évolué de façon marquée, étant donné que des chercheurs d'une gamme croissante de disciplines y participent. L'intérêt grandissant pour ces recherches est attribuable au fait que de plus en plus, on se rend compte que même avec des mesures d'atténuation efficaces, un certain degré de changement climatique est inévitable. Ses impacts ne sont plus considérés comme des effets hypothétiques, mais bien comme des risques qu'il faut contrer par des mesures d'adaptation. En effet, comme l'indique clairement le *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, l'adaptation est une mesure complémentaire nécessaire qu'il faut associer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, dans le cadre des mesures d'atténuation du changement climatique requises à tous les niveaux.

L'adaptation au changement climatique représente un défi pour tous les pays du monde, notamment le Canada. Il est certain que le changement climatique peut avoir des effets uniques quant à la portée et à l'ampleur possibles de ses impacts, mais, parce que les humains se sont toujours adaptés aux changements de leur environnement, climatiques ou autres, nous disposons d'une vaste expérience qui peut servir de base pour les projections. Le but de l'adaptation n'est pas de maintenir le statu quo, étant donné que cela ne sera tout simplement pas possible pour la plupart des écosystèmes et pour beaucoup de systèmes humains, mais plutôt de réduire les impacts négatifs du changement climatique tout en tirant parti des nouvelles occasions qui peuvent se présenter. Étant donné qu'il y aura toujours des incertitudes associées au changement climatique, il est préférable de faire face à ces problèmes dans un contexte de gestion des risques.

Au cours des cinq ou dix dernières années, on a noté un important changement dans les études sur les impacts et l'adaptation, car on reconnaît de plus en plus l'importance de tenir compte des facteurs sociaux, économiques et politiques, en plus des facteurs écosystémiques de type biologique ou physique. Par exemple, on a effectué des études préliminaires sur les coûts des impacts possibles et des diverses options d'adaptation. De plus, dans les recherches sur les impacts et l'adaptation, on note une utilisation croissante du concept de la vulnérabilité, qui désigne le degré dans lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. Les recherches qui mettent l'accent sur la vulnérabilité insistent sur la nécessité de bien comprendre l'état actuel du système étudié grâce à la participation des divers intervenants et à l'adoption d'une approche globale

« La communauté mondiale est confrontée à beaucoup de risques dus au changement climatique. Il ne fait aucun doute qu'il importe de comprendre la nature des risques pour lesquels les systèmes naturels et humains sont vraisemblablement les plus vulnérables, ainsi que les possibilités des mesures adaptatives. » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001).

Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne présente un aperçu des questions actuelles concernant les impacts du changement climatique et de l'adaptation à celui-ci au Canada, selon les recherches effectuées au cours des cinq dernières années. La nature de ces recherches a évolué de façon marquée, étant donné que des chercheurs d'une gamme croissante de disciplines y participent. L'intérêt grandissant pour ces recherches est attribuable au fait que de plus en plus, on se rend compte que même avec des mesures d'atténuation efficaces, un certain degré de changement climatique est inévitable. Ses impacts ne sont plus considérés comme des effets hypothétiques, mais bien comme des risques qu'il faut contrer par des mesures d'adaptation. En effet, comme l'indique clairement le *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, l'adaptation est une mesure complémentaire nécessaire qu'il faut associer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, dans le cadre des mesures d'atténuation du changement climatique requises à tous les niveaux.

L'adaptation au changement climatique représente un défi pour tous les pays du monde, notamment le Canada. Il est certain que le changement climatique peut avoir des effets uniques quant à la portée et à l'ampleur possibles de ses impacts, mais, parce que les humains se sont toujours adaptés aux changements de leur environnement, climatiques ou autres, nous disposons d'une vaste expérience qui peut servir de base pour les projections. Le but de l'adaptation n'est pas de maintenir le statu quo, étant donné que cela ne sera tout simplement pas possible pour la plupart des écosystèmes et pour beaucoup de systèmes humains, mais plutôt de réduire les impacts négatifs du changement climatique tout en tirant parti des nouvelles occasions qui peuvent se présenter. Étant donné qu'il y aura toujours des incertitudes associées au changement climatique, il est préférable de faire face à ces problèmes dans un contexte de gestion des risques.

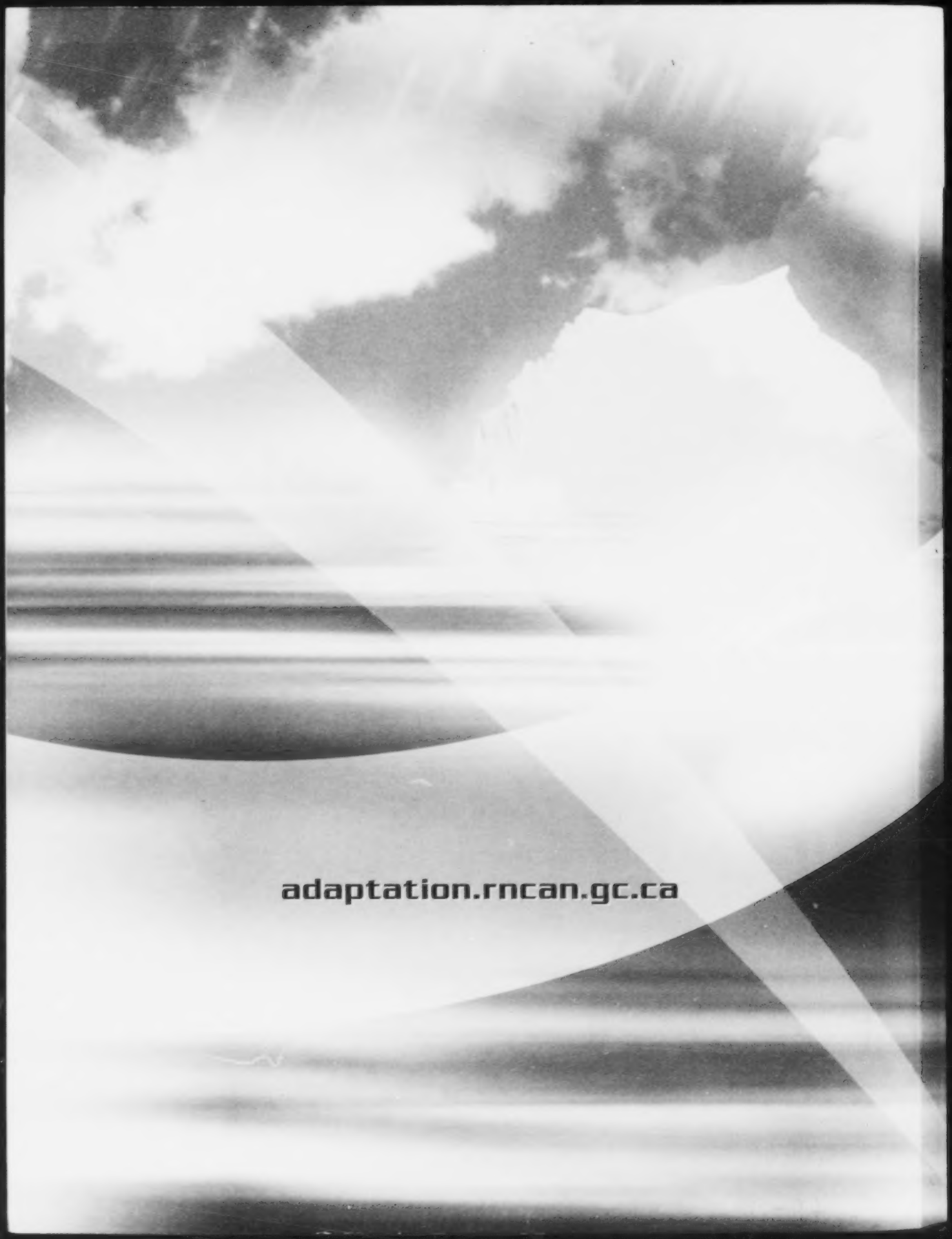
Au cours des cinq ou dix dernières années, on a noté un important changement dans les études sur les impacts et l'adaptation, car on reconnaît de plus en plus l'importance de tenir compte des facteurs sociaux, économiques et politiques, en plus des facteurs écosystémiques de type biologique ou physique. Par exemple, on a effectué des études préliminaires sur les coûts des impacts possibles et des diverses options d'adaptation. De plus, dans les recherches sur les impacts et l'adaptation, on note une utilisation croissante du concept de la vulnérabilité, qui désigne le degré dans lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. Les recherches qui mettent l'accent sur la vulnérabilité insistent sur la nécessité de bien comprendre l'état actuel du système étudié grâce à la participation des divers intervenants et à l'adoption d'une approche globale

et pluridisciplinaire. En se basant sur ce qu'on sait de la vulnérabilité actuelle et sur des scénarios qui décrivent les conditions climatiques et socio-économiques futures, on peut estimer la vulnérabilité future dans un contexte de gestion des risques. Pour ce qui est de la recherche sur les impacts et l'adaptation, il importe d'améliorer en permanence les méthodes de modélisation du climat et d'élaboration des scénarios. De même, il est extrêmement important de mieux comprendre comment se fait l'adaptation ainsi que de déterminer les obstacles qu'elle rencontre.

Les sept chapitres du présent rapport donnent un aperçu des impacts possibles du changement climatique pour autant de secteurs clés de l'économie du Canada, fournissent une revue des études récentes et mettent en évidence bien des lacunes dans les connaissances actuelles et dans les besoins en recherche. Cet examen montre qu'il y aura nécessairement des différences dans les impacts du changement climatique ainsi que dans notre capacité d'adaptation, tant pour ces différents secteurs que pour les diverses régions du Canada. Ces différences dépendront largement d'indicateurs de vulnérabilité, qui décrivent notamment la nature des changements climatiques, la sensibilité climatique d'un secteur et sa capacité d'adaptation. Il y aura des occasions à saisir et des défis à relever dans tous les secteurs. On n'a pas encore terminé de dresser le bilan net du changement climatique, et cela pourrait bien être impossible pour l'instant, étant donné les lacunes dans les connaissances actuelles. Néanmoins, selon un vaste consensus noté dans la documentation, les impacts négatifs devraient l'emporter dans tous les secteurs, sauf pour les scénarios des faibles réchauffements. C'est particulièrement le cas pour certains secteurs, comme la santé et les ressources en eau, et moins pour d'autres, comme les transports.

Il faut aussi reconnaître que, même si on a utilisé dans ce rapport une présentation par secteurs, ceux-ci sont généralement très interdépendants. Donc, les impacts sur l'un de ces secteurs, tout comme les décisions relatives à l'adaptation pour ce secteur, ont souvent des répercussions sur d'autres. Cela est particulièrement vrai pour les ressources en eau; il est clair qu'un grand nombre des décisions prises dans beaucoup d'autres secteurs, notamment les transports, l'agriculture et les pêches, pourraient dépendre de celles visant à atténuer les changements de la quantité ou de la qualité de l'eau. De plus, il est important de tenir compte des interactions des diverses régions, à l'intérieur du Canada et à l'échelle mondiale, étant donné que les impacts négatifs ou positifs prévus pour une région sont souvent lourds de conséquences pour une autre.

Même si des changements graduels des conditions moyennes devraient avoir des impacts tant positifs que négatifs, une augmentation de la fréquence ou de l'intensité des phénomènes extrêmes présente des défis pour la plupart des secteurs. Ces extrêmes se situent souvent hors des plages prévues pour les mesures d'intervention, causant ainsi des dépassements de seuils critiques. De façon générale, on estime que les systèmes qui subissent actuellement des stress sont les plus à risque. Des mesures d'adaptation proactives et préventives devraient contribuer à réduire les pertes associées à la variabilité climatique actuelle, ainsi qu'à augmenter la capacité de rétablissement requise pour faire face aux changements du climat et aux événements climatiques extrêmes au cours des années à venir. Enfin, il ne fait aucun doute que, dès maintenant et à plus long terme, l'amélioration de la capacité d'adaptation, grâce à une gamme de mesures faisant appel à de nouvelles technologies, à la réglementation et à des changements de notre comportement, ne peut être que bénéfique.


adaptation.rncan.gc.ca